

„HÜTTE“

DES INGENIEURS TASCHENBUCH.

HERAUSGEGEBEN
VOM
AKADEMISCHEN VEREIN HÜTTE, E. V.

21. AUFLAGE.

III. BAND.

BERLIN 1911.
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

*Alle Rechte und besonders
das Recht der Uebertragung in fremde Sprachen sind vorbehalten.
Copyright 1911 by Akademischer Verein Hütte,
Eingetragener Verein Berlin.*

INHALTSVERZEICHNIS

des dritten Bandes.

ERSTER ABSCHNITT.

Vermessungskunde.

Bearbeitet von Geh. Reg.-Rat Professor Werner.

	Seite
Allgemeines	1
A. Längenmessung	2
B. Instrumente und Hilfsmittel zum Abstecken konstanter Winkel	4
C. Hilfsmittel zum Senkrecht- und Wagerechtmachen von Linien, Achszapfen, Drehachsen	8
D. Linsen	11
E. Instrumente zum Messen von Winkeln	14
F. Anordnung von Polygonzügen	17
G. Kleintriangulation	20
H. Höhenbestimmung	26
I. Tachymeteraufnahmen	35
K. Abriss einer Landestriangulation	46
L. Abriss der Ausgleichsrechnung	49

ZWEITER ABSCHNITT.

Statik der Baukonstruktionen.

Bearbeitet von Konstruktionsingenieur Dipl.-Ing. Stumpf.

I. Allgemeines.	
A. Statische Berechnungen	56
B. Belastungen und Eigengewichte	57
II. Brücken- und Dachkonstruktionen.	
A. Der einfache Balken	83
B. Gerberbalken	97
C. Verwertung der M_x -Linie des einfachen Balkens	101
D. Besondere Fälle. Gleichförmige Belastung	102
E. Der Dreigelenkbogen	111
F. Versteifte Kette über eine Oeffnung	115
III. Theorie der statisch unbestimmten ebenen Träger	117
IV. Parabelförmige Einfluslinien	142
V. Statisch unbestimmte Konstruktionen	146
VI. Räumliches Fachwerk.	
A. Zerlegung einer Kraft nach drei Richtungen im Raum	185
B. Kuppeldächer	188
C. Führungsgerüste der Gasbehälter	191
D. Turmspitzen	192
VII. Näherungsformeln für einige Holzkonstruktionen	197
VIII. Erddruck und Stützmauern	200
IX. Gewölbe	211

DRITTER ABSCHNITT.**Grundbau.**

Bearbeitet von Geh. Admiralitätsrat Dr.-Ing. h. c. Brennecke. Seite

A. Allgemeines	226
B. Baugrund	229
C. Einschließung, Abdämmung und Trockenlegung der Baugrube	231
D. Berechnung von Bohlwerken und Verankerungen	232
E. Wahl der Gründungsart	235
F. Die wichtigsten Gründungsarten	237
G. Verschiedenes	263

VIERTER ABSCHNITT.**Eisenbetonbau.**

Bearbeitet von Ingenieur C. Kersten.

I. Allgemeines	265
II. Grundformen	270
III. Theorie des Eisenbetons	273
IV. Anwendungen im Hoch- und Tiefbau	297

FÜNFTER ABSCHNITT.**Hochbau.**

Bearbeitet von Zivilingenieur O. Leitholf.

I. Mauerwerk	320
II. Holzkonstruktionen	339
III. Eisenkonstruktionen	358
IV. Decken	407
V. Dacheindeckungen	415

SECHSTER ABSCHNITT.**Lüftung und Heizung.**

Bearbeitet von Professor Dr. Techn. Brabbée.

I. Lüftung	423
II. Heizung	436

SIEBENTER ABSCHNITT.**Fabrikanlagen.**

Bearbeitet von Professor Troske.

I. Wahl des Fabrikortes	466
II. Wahl des Bauplatzes	468
III. Allgemeines für die Entwurfsbearbeitung	468
IV. Einzelheiten	476
V. Wohlfahrtseinrichtungen	511

ACHTER ABSCHNITT.**Baumaschinen.**

Bearbeitet von Professor Weihe.

Seite

I. Baggermaschinen	513
II. Rammen und zugehörige Hilfsmaschinen	519
III. Mischmaschinen	523
IV. Hebemaschinen für Bauzwecke	525
V. Baupumpen.	530

NEUNTER ABSCHNITT.**Wasserbau.**

Bearbeitet von Regierungsbaumeister Seifert.

I. Flufsbau	532
II. Kanalbau	558
III. Schiffsschleusen	576
IV. Flußmündungen und Seekanäle	594
V. Landwirtschaftlicher Wasserbau.	599

ZEHNTER ABSCHNITT.**Wasserkraftanlagen.**

Bearbeitet von Baurat Privatdozent Mattern.

I. Vorarbeiten	616
II. Entwurfsaufstellung	617
III. Die Wassermenge	618
IV. Das Gefälle	626
V. Das Kraftwerk und seine Einrichtung	635
VI. Fernübertragung der Wasserkräfte	638
VII. Wasserkraftnutzung an kanalisierten Flüssen	639
VIII. Vereinigung von Wasser- und Wärme kraft	641
IX. Die Kosten der Wasserkräfte	641
X. Ertragsberechnungen	642
XI. Krafttarif	644

ELFTER ABSCHNITT.**Straßenbau.**

Bearbeitet von Dr.-Ing. Dietrich.

I. Allgemeines.

A. Straßenfahrzeuge	645
B. Bewegungswiderstand und Zugkraft	648
C. Arbeitsleistung der Zugtiere	651

II. Bau und Unterhaltung der Straßen.

A. Wege untergeordneter Bedeutung	652
B. Landstraßen	653
C. Städtische Straßen	670
D. Wegerecht.	683

ZWÖLFTER ABSCHNITT.**Städtebau.**

Bearbeitet von Professor Brix.

Seite

A. Die Aufgaben des Städtebaues	686
B. Stadt- und Ortsbaupläne	687
C. Gartenstädte und Wohnkolonien	698

DREIZEHNTER ABSCHNITT.**Wasserversorgung.**

Bearbeitet von Professor Dr. Forchheimer.

A. Beurteilung des Wassers	699
B. Wasserbedarf	700
C. Wassergewinnung	703
D. Aufbereitung	716
E. Sammlung (Hochbehälter)	722
F. Wasserverteilung	729

VIERZEHNTER ABSCHNITT.**Städteentwässerung.**

Bearbeitet von Magistratsbaurat Meier.

a) Kanalisationssysteme	735
b) Anordnung des Kanalnetzes	735
c) Wassermengen	736
d) Linienführung der Leitungen	741
e) Entwurfsdarstellung	742
f) Berechnung der Leitungsquerschnitte	745
g) Berechnung der Regenüberfälle	748
h) Tiefenlage und Gefälle	748
i) Bauweise der Leitungen	749
k) Notauslässe	754
l) Pumpstationen	755
m) Druckrohrleitungen	756
n) Betrieb	757
o) Reinigung der Abwässer	758

FÜNFZEHNTER ABSCHNITT.**Eisenbahnwesen.**

Bearbeitet von Regierungs- und Baurat Samans (A I B II u. III) und Kraefft (A I A I a, c bis e, II bis IV, B I, IV, C a bis g), Regierungsbaumeister Ackermann, (A I I B, E), Boistorff (A I C h, i), Hammer (A I A I b, C k bis m, II A) und Weyand (A I I D) und Ingenieur Abt (B und C).

A. Reibungsbahnen.

Bestimmungen über Bau und Betrieb der Bahnen	765
I. Bahnbau.	

A. Vorarbeiten.

I. Geschäftsgang in Preußen	767
II. Grundzüge für die Vorarbeiten	767
III. Vorschriften	773
IV. Ausführung der technischen Vorarbeiten	780

B. Streckenbau.	Seite
I. Unterbau	786
II. Oberbau	795
III. Weichen und Kreuzungen	815
IV. Wegübergänge	828
V. Schutzanlagen	830
C. Bahnhofsanlagen.	
II. Eisenbahnfahrzeuge.	
A. Allgemeines	870
B. Bremsen	877
C. Lokomotiven und Tender	886
D. Eisenbahntriebwagen	921
E. Wagen	925
III. Eisenbahnwerkstättenanlagen	937
B. Zahnradbahnen	951
C. Standseilbahnen.	
I. Drahtseile	969
II. Grubenseilbahnen	970
III. Vergnügungs-(Touristen-)Bahnen	972

SECHZEHNTER ABSCHNITT.

Brückenbau.

Bearbeitet von Dipl.-Ing. Hiorth.

I. Allgemeines	980
II. Eisernen Brücken.	
A. Eisernen Brücken im allgemeinen:	
1. Baustoffe und Konstruktionselemente	983
2. Haupttragwerke	987
3. Lager	1035
4. Raumverbände	1045
B. Eisenbahnbrücken	
1. Gesamtanordnung und Allgemeines	1054
2. Brückenbahn	1057
3. Walzträger in Betondecke	1066
4. Brücken in Kurven	1069
5. Konstruktionshöhen von Eisenbahnbrücken	1070
6. Stützen zwischen Gleisen	1072
C. Straßenbrücken	1073
D. Gewichtsberechnungen	1086
E. Pfeiler und Widerlager	1089
III. Tafeln für gewölbte Brücken	1091

Sachverzeichnis.

Bearbeitet von Ingenieur Ludloff.

Sachverzeichnis des ersten, zweiten und dritten Bandes	1097
--	------

Berichtigungen.

- Seite 31 Zeile 20 v. o. lies $\frac{7}{8} \frac{D^2}{2r}$ anstatt $\frac{7}{8} \frac{D_2}{2r}$.
- „ 32 „ 20 v. o. „ Z_A anstatt ZA .
- „ 41 „ 9 v. u. „ $\frac{\varphi}{4}$ anstatt $\frac{\varphi}{2}$.
- „ 68 „ 9 v. u. ist einzuschalten:
 g gilt für hölzerne Querswellen mit Bohlenbelag.
 g' „ „ Querswellenoberbau in Schotterbettung.
- „ 90 „ 10 v. u. lies oder anstatt und.
- „ 328 „ 14 v. u. lies „Geländehöhe reichen müssen“ statt „Gebäudehöhe reichen sollen“.
- „ 397 „ 14 v. o. 137 statt 136.
- „ 397 „ 15 v. o. lies 136 statt 137.
- „ 432 „ 9 v. u. lies $H + h_R =$ anstatt $H =$
- „ 432 letzte Zeile v. u. lies unveränderlichen bzw. nicht zutreffenden anstatt unveränderlichen.
- „ 671 Zeile 14 v. u. lies 1 cbm anstatt cbm.
- „ 675 „ 16 v. u. „ Bisweilen anstatt Besonders.
- „ 711 „ 13 v. o. lies $= \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{2a}{\pi x}$ anstatt $= \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{2a}{\pi x}$.
- „ 711 „ 13 v. o. lies $\ln 2$ anstatt \ln^2 .
- „ 752 „ 18 v. o. „ Abb. 29 anstatt Abb. 28.
- „ 850 „ 15 v. o. „ 18,5 anstatt 10,5.

ERSTER ABSCHNITT.

VERMESSUNGSKUNDE.

(Geodäsie, praktische Geometrie.)

Allgemeines.

Aufgabe ist: Teile der **physischen** (d. i. sichtbaren) Erdoberfläche in bezug auf **mathematische** Erdoberfläche aufzunehmen und in Plänen, Karten wiederzugeben. Mathem. Erdoberfläche, **Geoid**, als spezielle Niveaufäche die mittleren Meeresspiegel der Weltmeere aufnehmend, ist auf Grund der Gradmessungsarbeiten für die Praxis ausreichend durch ein Rotationsellipsoid zu ersetzen, an dessen Stelle die Krümmungskugel, weiter die mittlere Erdkugel von 6370 km Halbmesser und im besonderen die Horizontebene als scheinbarer Horizont treten kann.

Elemente für **Bessels Rotationsellipsoid**:

halbe große Achse $a = 6\,377\,397,15500$ m

„ kleine „ $b = 6\,356\,078,96325$ „

$$\text{Exzentrizität } e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 0,0066743721$$

$$\text{Abplattung } p = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{299,152818} = 0,0033427732.$$

Man unterscheidet zwischen **niederer** und **höherer** Geodäsie, je nachdem der Einfluß der Erdkrümmung vernachlässigt oder berücksichtigt werden muß.

Lageplan gibt die Vertikalprojektion eines Geländeabschnittes auf die Horizontalebene wieder, praktisch zulässig, indem auf 1000 m Entfernung die Lotlinien einen Winkel von rd. $32''$ bilden.

Entfernung ist der Abstand zwischen den Lotrichtungen zweier Punkte, in wagerechter Richtung gemessen (in derselben Vertikalebene).

Eine Entfernung von 1000 m, im Meereshorizont oder in 1000 m Höhe gemessen, gibt einen Unterschied von 0,157 m oder einen relativen Fehler von $\frac{1}{6370}$; so genau werden in der niederen Geodäsie Entfernungen, unmittelbar gemessen, praktisch nicht erhalten.

Nivellementsplan: Darstellung der nach Entfernung und Höhe aufgemessenen **Terrainlinie**, als Schnitt von Vertikalebenen oder Flächen mit der physischen Erdoberfläche.

Im **Lageplan mit eingezeichneten Horizontalkurven** (Grundlage für Bearbeitung der Entwürfe des Bauingenieurs) wird die Höhengestaltung durch den Verlauf der Horizontalkurven (Verbindung von Punkten gleicher Höhe) veranschaulicht. Werden in den einzelnen Punkten eines Lageplans die Höhen der Punkte in Richtung der Normalen abgesetzt, entstehen **Reliefkarten** bzw. -Globen.

Mafseinheiten. Sofern nur Messungen von Längen oder von Winkeln auszuführen, sind zur Ausführung zwei Mafseinheiten erforderlich:

Mafseinheit für Längen ist das internationale Meter mit seinen dezimalen Unter- und Uebertellen; für Winkel der rechte Winkel, unterteilt nach

alter Teilung = 90° zu $60'$ zu $60''$
 neuer „ = 100° zu $100'$ zu $100''$.

Festlegung und Sichtbarmachung der Punkte. Die Festlegung erfolgt verschieden nach Dauer und Zweck durch Grundplatte mit Bolzen und Granitsockel mit Kreuz (Landesvermessung), einfachen Granitsockel mit Kreuz, Zementsockel mit Bohrloch, Pfahl mit Bohrloch, Entwässerungsröhren, Gasröhren mit angeschmiedeter Spitze, Pfahl mit Nagel. Die Punkte werden sichtbar gemacht durch Fluchtstäbe, Baken, Piquetts, mittels Senkel oder Ansatzlibelle senkrecht gestellt.

Ausfluchten (freiäugig) **gerader Linien** zwischen zwei Punkten *A* und *B*, durch Einrichten weiterer Fluchtstäbe. Ausführung verschieden:

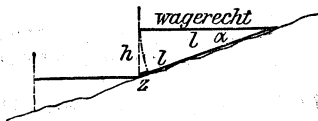
1. ohne Gehülfen durch Verlängern über *A* bzw. *B* hinaus,
2. mit Gehülfen durch Einweisen von einem oder beiden Endpunkten aus,
3. mit Gehülfen durch allmähliches Einrücken von zwei Punkten gleichzeitig in die Gerade,
4. auf größere Entfernung durch Benutzung eines Theodoliten als Passageinstrument.

A. Längenmessung.

a. Unmittelbare Längenmessung.

1. **Mefslatten** aus trockenem Tannenholz von 3, 4, 5 m Länge mit rechteckigem, quadratischem oder ovalem Querschnitt (letzttere von der Mitte nach den Enden verjüngt); an den Enden mit Eisenschuhen versehen, in Ebenen, oder für genauere Messungen in abgerundete, kreuzweise stehende Schneiden auslaufend. Die Länge der Mefslatten in legalem Mafse wird durch Normieren auf dem Komparator erhalten. Zur Ausführung der Messung sind zwei Mefslatten erforderlich. Die Messung erfolgt längs der ausgesteckten Geraden oder längs einer in der Geraden gespannten Schnur oder auf festem Untergrunde längs aufgebrachtem Schnurschlage in ebenem wagerechten Gelände durch Aneinanderlegen.

Abb. 1.



In geneigtem Gelände wird jede einzelne Latte wagerecht gelegt (freiäugig ungenau, besser unter Benutzung einer aufgesetzten justierten Setzlibelle) und die Enden staffelförmig heruntergesenkt; statt Herunter-senken genauer und bequemer durch Messen von h (Abb. 1) (höchstens auf cm) und Entnahme der Reduktionsgröße $z = \sqrt{l^2 + h^2} - l$ aus einer Zahlentafel (für $l = 4$ m, 5 m). Anstatt h kann auch der Neigungswinkel α jeder Lattenlage mit Hilfe eines Neigungsmessers (Weiß-

bachs Setzniveau) gemessen werden. Dann ist Entfernung $= \Sigma l \cos \alpha = \Sigma l - \Sigma z$, wo $z = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ (α nach $1/10^\circ$) wieder aus einer Zahlen-tafel zu entnehmen ist.

Wenn in stark wechselndem Gelände die Entfernungen einer größeren Anzahl von Zwischenpunkten und außerdem die Höhenverhältnisse sofort mit erhalten werden sollen, verwendet man mit Vorteil den **Staffelapparat**. (Aufnahme von Querprofilen in stark wechselndem, steilem Gelände).

Wagerechte Staffellatte in 5 cm unterteilt, der Handlichkeit wegen nicht über 3 m lang, die senkrecht angeschobene Latte in Zentimeter unterteilt.

2. **Stahlmefsband**, gewöhnlich 20 m lang (für Stationieren besser 25 m), in Ringen endigend, welche über die zum Straffziehen erforderlichen Ziehstäbe geschoben werden. Die Länge bezieht sich auf die an den Ringen angebrachten Marken, durch Vergleichen (bei gespanntem Bande) mit den Normalstäben, ähnlich wie bei den Mefslatten, abgeleitet. Die Temperaturänderung bleibt bei der Anwendung im Gelände, als innerhalb des praktisch erreichbaren Genauigkeitsgrades gelegen, unberücksichtigt. In geneigtem Gelände wird das Mefsband, der Geländeneigung folgend, straff gespannt und der Neigungswinkel des Geländes oder einer dazu Parallelen (Visur über die gleich langen Ziehstäbe hinweg) mittels **Böschungsmessers** ermittelt (Gradbogen in ganze Grade geteilt, Ablesung auf einige Zehntel Grad sicher geschätzt, reicht aus); Reduktionsgröße analog wie bei der Lattenmessung.

3. Die früher viel verwandte **Gliedermefskette** ist durch das Stahlmefsband vollständig verdrängt und ihre Verwendung amtlich untersagt, da sie nicht eichfähig ist.

(Anweisung VIII § 36. Die Anwendung der Gliederkette ist untersagt.)

4. **Mefsrad** mit Umlaufzähler nur zu Kontrollmessungen vereinzelt im Gebrauch, da hierbei nur die tatsächlich abgerollte Länge ermittelt werden kann.

5. **Schrittmafs** in Verbindung mit **Schrittzähler** (Pedometer) ein sehr bequemes Hilfsmittel bei Anfertigung von Handrissen; die Schrittlänge als individuell ist durch Versuche eigens zu ermitteln.

Genauigkeit der unmittelbaren Längenmessung ist verschieden nach den in Anwendung kommenden Hilfsmitteln. Theoretisch und erfahrungsgemäß wächst (infolge der unvermeidlichen zufälligen Messungsfehler) der mittlere Fehler einer Längenmessung mit der Quadratwurzel aus der gemessenen Länge L , also $M = \pm m \sqrt{L}$, wo m den mittleren Fehler der Längeneinheit darstellt.

Erfahrungsgemäß ist

m für Lattenmessungen	$= 0,0022 = 0,2 \text{ vH}$
Bandmessungen	$= 0,0029 = 0,3 \text{ „}$
Mefsrad	$= 0,0190 = 1,9 \text{ „}$
Schrittmafs	$= 0,05 = 5 \text{ „}$

also für $L = 100 \text{ m}$

$M = \pm 0,02 \text{ m}$
$= \pm 0,03 \text{ „}$
$= \pm 0,19 \text{ „}$
$= \pm 0,5 \text{ „}$

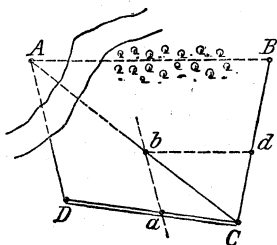
Bei Trassierungsarbeiten wird das Absetzen von Längen fast allgemein auf $\frac{1}{2000}$ sicher verlangt.

(Die angegebenen amtlich zulässigen Fehlergrenzen sind in der Regel derart bemessen, daß ihre Einhaltung bei der erforderlichen Sachkenntnis und nötigen Sorgfalt der Ausführung stets möglich ist.)

b. Mittelbare Längenmessung

stützt sich auf Aehnlichkeitssätze, schließt vom Kleinen aufs Große, steht mithin der unmittelbaren Messung bezüglich des Genauigkeitsgrades nach, kann mit Vorteil durch Kleintriangulation oder andere Verfahren ersetzt werden.

Abb. 2.



Beispiel: $A-B$ (Abb. 2) zu bestimmen; nur einer der Punkte (hier B) zugänglich, Visur $A-B$ nicht möglich. Eine Standlinie CD wird passend ausgewählt und gemessen; CA , CB , DA ausgefuchtet; auf CD von C aus $\frac{1}{n}$ in a , auf CB von C aus $\frac{1}{n}$ in d abgesetzt; durch a eine Parallele zu DA liefert b , dann ist bd parallel $AB = \frac{AB}{n}$. Sind beide Punkte unzugänglich, dann sind zwei Standlinien anzuordnen.

Aufnahme nach rechtwinkligen (ebenen) Koordinaten. Einzelne Punkte gerade oder krummlinig verlaufender Geländegrenzen, Straßenzüge usw. können der Lage nach gegen festgelegte Vermessungsachsen festgelegt werden nach rechtwinkligen Koordinaten. Hierzu sowie zum Zurückübertragen des Projektes in das Gelände sind die

B. Instrumente und Hilfsmittel zum Abstecken konstanter Winkel

erforderlich. (Hauptsächlich Winkel von 90° , 180° , 45° .)

a) Diopterinstrumente: Winkelkreuz, Winkelkopf, Winkeltrommel, Kreuzscheibe, bei denen die Diopterebenen materiell durch Punkt—Spalt, Spalt—Spalt, Spalt—Faden festgelegt sind, werden auf ihre Richtigkeit untersucht, indem man den konstanten Winkel so oft aneinander legt, bis ein gestreckter Winkel entsteht, durch unmittelbares Ausfuchen kontrollierbar. Indem die Genauigkeit dieser Diopterinstrumente erfahrungsgemäß auf 2 bis 3' veranschlagt werden kann, muß der bei der Untersuchung sich zeigende Winkelfehler kleiner als dieser Betrag verbleiben. Justiereinrichtungen sind in der Regel nicht vorgesehen. Diopterinstrumente (namentlich die Kreuzscheibe) eignen sich weniger für die unmittelbare Aufnahme, leisten aber bei der Zurückübertragung ins Gelände gute Dienste.

b) Spiegelinstrumente: 1. der einfache **Winkelspiegel** (Abb. 3). Zwei ebene Spiegel sind an den Wandungen eines starren Gehäuses derart befestigt, daß der eine Spiegel mittels Zug- und Druckschrauben gegen die Wandung verstellt und in jeder Lage starr erhalten werden

kann, wodurch der Oeffnungswinkel α der spiegelnden Ebenen auf einen Sollwert gebracht werden kann. Bedingung: Schnittkante der Ebenen senkrecht. Ein von A ausgehender Lichtstrahl wird nach zweimaliger Reflexion den eintretenden Strahl im Punkte D schneiden unter dem Winkel

$$\varphi = 2\alpha, \text{ denn } \varphi = 2(\beta + \gamma);$$

$$\alpha + 90 - \beta + 90 - \gamma = 180 \text{ oder } \alpha = \beta + \gamma.$$

Mithin wird ein vom Auge in C aus in der Rückwärtsverlängerung des austretenden Strahles durch

Ueberwachsen eingerichtet Fluchtstab B gegen den gegebenen Stab A im Schnittpunkte D den festen Winkel $\varphi = 2\alpha$ und bei $\alpha = 45^\circ$ $\varphi = 90^\circ$ bilden. Der Schnittpunkt D ist mit β bzw. γ veränderlich. Wird ein Punkt P

des Querschnitts im Gehäuse ein für allemal fixiert (in welchem Punkte mittels Senkels oder besser mittels eingeschraubten Lotstabs der Punkt des Geländes herauf- oder heruntergelotet wird), so ist die lineare Gröfse $D-P$ der theoretische Fehler des Winkelspiegels, welcher durch passende Haltung des Instrumentes auf wenige Millimeter herabgedrückt werden kann.

Untersuchung und Justierung des Winkelspiegels (Abb. 4).

Im Punkte c einer Geraden AB wird der feste Winkel φ das eine Mal gegen den Ast cA abgesteckt, liefert a , und sodann gegen den Ast cB , liefert b ; nun wird der justierbare Spiegel so lange verstellt, bis das Bild von A oder von B auf d eindeckt. Genauigkeitsgrad 4 bis 5'.

Hauptaufgaben: a) von einem Punkte außerhalb einer Geraden eine Senkrechte fallen.

Aufnahme des Geländes; hierbei muß die Gerade durch mehr als zwei Punkte festgelegt sein; der Beobachter bewegt sich in der Geraden, die Oeffnung des Winkelspiegels dem Punkte außerhalb zugekehrt, bis das doppelt reflektierte Bild auf die Gerade eindeckt.

b) in einem Punkte einer Geraden eine Normale errichten.

Uebertragen des Projektes ins Gelände; wie bei Untersuchung des Winkelspiegels. Von dem verbleibenden Fehler des justierten Instrumentes macht man sich unabhängig, indem man beide Aeate der Geraden benutzt.

c) Die dritte Hauptaufgabe: in eine durch zwei Punkte festgelegte Gerade sich einzuschalten, wird einfacher durch Benutzung

2. des **Spiegelkreuzes** gelöst: zwei übereinandergestellte spiegelnde Ebenen sind gegen ein starres Gehäuse derart befestigt, daß der

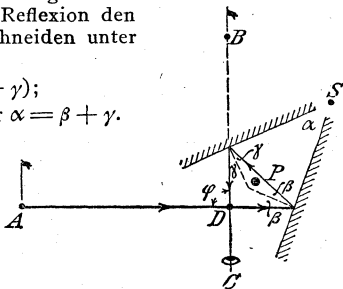


Abb. 3.

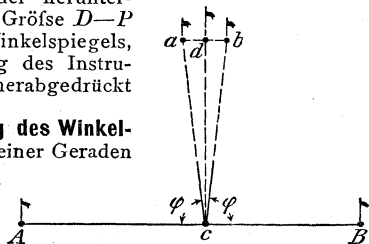
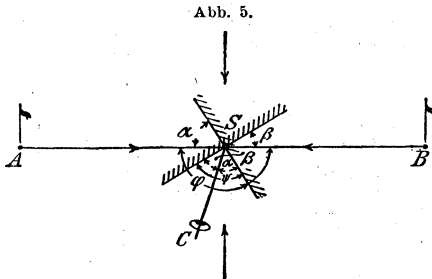


Abb. 4.

Neigungswinkel der Ebenen ψ geändert werden kann. Bedingung: Schnittkante S der Ebenen senkrecht, und die verlängerte Schnitt-



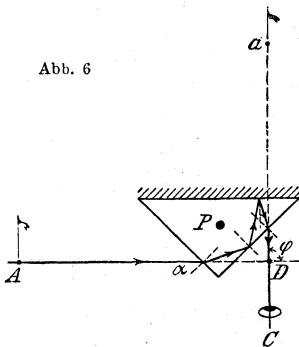
kante wird durch den eingeschraubten Lotstab materiell fixiert. Wird jetzt das Auge in C auf die Schnittkante S gerichtet (Abb. 5) und ist der Neigungswinkel $\psi = 90^\circ$, so sieht das Auge die Bilder der Fluchtstäbe A und B in Deckung, wenn $A-S-B$ eine Gerade.

Auf jeden Fall ist der Ablenkungswinkel φ dem doppelten Neigungswinkel ψ . Untersuchung und Anwendung: man

geht das eine Mal von der einen Seite vor bis zu einem Punkte, in welchem sich die Bilder beider Stäbe A und B decken, und sodann von der anderen Seite; der Halbierungspunkt liegt, abgesehen von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern, in der Geraden.

c) Prismeninstrumente (handlicher als Spiegelinstrumente). 1. Das **einfache Winkelprisma** beruht auf der Ablenkung eines Lichtstrahles beim Durchgange durch brechende Kanten. Farblose Bilder, Ab-

Abb. 6



lenkungswinkel von bestimmter Größe (z. B. 90°) werden erhalten, indem man dem Querschnitt des Prismas eine bestimmte Form gibt. Ein Glasprisma mit gleichschenkligen, rechtwinkligem Dreieck als Querschnitt liefert für den festen Strahl, welcher an der einen Kathetenebene eintritt und nach zweimaliger Reflexion im Inneren (die eine als Totalreflexion an der anderen Kathetenebene und die andere als Reflexion an der Hypotenusenebene, diese als Spiegel belegt) an der anderen Kathetenebene austritt, farblose Bilder und eine Ablenkung von 90° (Abb. 6).

Ein vom Auge in C in der Rückwärtsverlängerung des austretenden Strahles (durch Ueberwegsehen) eingewiesener Stab a bildet gegen A im Schnittpunkte D den festen Ablenkungswinkel φ . Wird ein Punkt P des Querschnitts durch den eingeschraubten Lotstab fixiert, so ist (indem D mit der Drehung des Prismas, also mit α veränderlich) $D-P$ der theoretische Fehler, welcher gering bleibt.

Der feste Strahl oder das feste Bild ist nur nahe der Kante der spitzen oder rechten Winkel zu suchen.

Genauigkeitsgrad 4 bis 5'; Untersuchung ähnlich wie beim Winkelspiegel; ein Justieren ist ausgeschlossen; zu lösende Hauptaufgaben dieselben wie beim einfachen Winkelspiegel.

2. Das **Prismenkreuz** (von Bauernfeind) ist eine Kombination zweier einfacher Prismen so übereinandergestellt, daß die Hypotenusenebenen nahezu winkelmäßig zueinander stehen (Abb. 7), und löst die dritte Hauptaufgabe: sich in eine Gerade einzuschalten (so daß mit dem Prismenkreuz alle drei Hauptaufgaben gelöst werden können).

(Bei der Anwendung so zu halten, daß die eine Hypotenuse nahezu in die Richtung der Geraden AB zu stehen kommt.)

Die lineare Strecke $D-D'$ ist der theoretische Fehler des Gerätes.

Bei einer Anordnung nach Kammerer in Wien (Abb. 8) werden die beiden Prismen mit der Ecke des rechten Winkels übereinander

Abb. 7.

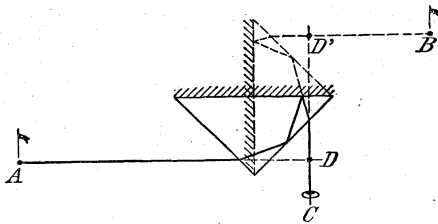


Abb. 8.

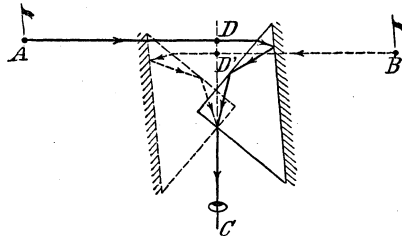


Abb. 9.

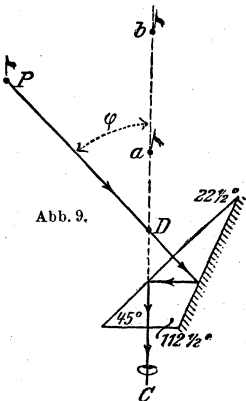
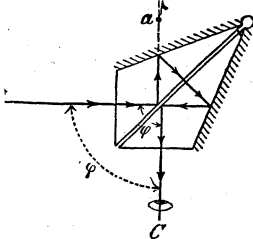


Abb. 10.



gelegt, die Hypotenusenebenen nahezu parallel zueinander, wodurch die Stellung des Auges in C gegenüber der Schnittkante schärfer fixiert wird.

Bei **Dechers Prismentrommel** (zum Kurvenabstecken benutzt) ist das eine Prisma gegen das andere verstellbar angeordnet, und indem hier von dem beweglichen Strahl oder dem beweglichen Bild Anwendung gemacht wird, kann jeder beliebige Ablenkungswinkel (als Peripheriewinkel) erhalten werden.

3. **Doergens' Prisma** dient einzeln zum Abstecken der Winkel von 45° und zu zweien, zum Doppelprisma kombiniert, zum Abstecken der Winkel von 90° . Ein Querschnitt mit den Winkeln 45° , $112\frac{1}{9}^\circ$, $22\frac{1}{2}^\circ$ erfüllt die Bedingungen: farblose Bilder und Ablenkungswinkel $\varphi = 45^\circ$ (Abb. 9) bzw. $\varphi = 90^\circ$ (Abb. 10). Bei der Anwendung ist das Prisma so zu halten,

dafs das Auge in C in der Richtung der Geraden AB nahezu winkelrecht auf die eine Kathetenebene blickt, während die Hypotenusenenebene nahezu winkelrecht zum einfallenden Strahl vom Punkte P zu liegen kommt (hierbei mufs die abgeschrägte, ursprünglich zweite Kathetenebene als Spiegel wirken).

Prismen für 45° (ebenso Winkelspiegel für 45°) leisten bei Aufnahmen nach rechtwinkligen Koordinaten dann gute Dienste, wenn das Messen der Ordinaten selbst unmöglich oder schwierig wird, indem das Messen der Ordinaten in die Abszissenachse verlegt wird.

Infolge des beschränkten Genauigkeitsgrades der Geräte zum Abstecken fester Winkel (Fehler kann bis $5'$ anwachsen) können mit diesen einfachen Hilfsmitteln nicht beliebig lange Ordinaten festgelegt werden.

(Anweisung VIII § 81: ... Beträgt die Länge der rechtwinkligen Abstände mehr als 40 m, so ist die Richtigkeit derselben zugleich durch eine Hypotenusenmessung oder in sonst geeigneter Weise zu prüfen ...)

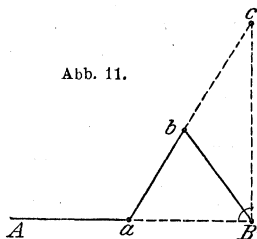


Abb. 11.

Abstecken fester Winkel (90°) mittels Meßlatten bzw. Meßbandes: auf Bauplätzen: Holzwinkel von 1 bis 2 m Kathetenlänge; beim Abbinden von Fachwerken: 3 und 4 winkelt 5 oder 6 und 8 winkelt 10; beim Abstecken von Kurven wird für kurze Ordinaten auch das **Schnurdreieck** benutzt; im Gelände mittels Meßbandes (oder einer Meßleine) im Endpunkte B einer Geraden BA eine Normale errichten: das eine Ende des Meßbandes in B (Abb. 11), das andere in a festhalten, die Mitte des gestrafften Bandes in b markiert, darauf das Ende von B in die Verlängerung $a-b$ nach c herungeschlagen, ist $CB \perp BA$...

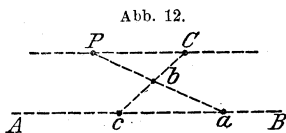


Abb. 12.

Lange Ordinaten können vermieden werden durch passende Lage der Vermessungsachsen oder durch **Abstecken von Parallelen**.

(Auch für andere Zwecke erwünscht; die Durchführung erfolgt ausgehend von der Bestimmung paralleler Linien; z. B. durch den Punkt P (Abb. 12) soll eine Parallele zu $A-B$ abgesteckt werden; Pa (beliebig) ausgefluchtet; durch den Halbierungspunkt b eine Gerade cb gelegt und $bC = bc$ abgesetzt, dann ist $PC \parallel AB$.)

C. Hilfsmittel zum Senkrecht- und Wagerechtstellen von Linien (Ebenen), Achszapfen, Drehachsen.

- a) **Senkel** (einfacher oder Doppelsenkel) dient zum Herauf- oder Herunterloten von Punkten. **Lotgabel** dient dazu, einen Punkt auf eine Zeichnungsebene (Meßtischblatt) abzusenkeln.

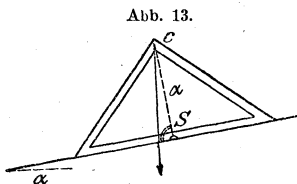


Abb. 13.

Zum **Wagerechtstellen** materieller Linien (auf dem Bauplatze) dient in einfachster Form die **Setzwage** (Abb. 13) in Verbindung mit einer Setzlatte

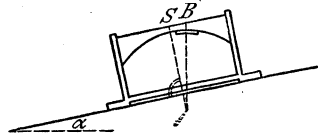
(3 bis 5 m lang); Senkelfaden stets senkrecht; Spielpunkt S derjenige Punkt, dessen Verbindungslinie mit dem Aufhängepunkte c winkelrecht zur Unterlage steht; die Unterlage (Setzlatte) wird so lange geneigt, bis Senkelfaden auf S einspielt. Untersuchung und **Bestimmung des Spielpunktes**: Der Halbierungspunkt zwischen den Einspielmärken m in zwei um 180° verschiedenen Aufstellungen auf derselben Unterlagsgeraden ist der Spielpunkt.

b) **Wasserwage oder Kanalwage** findet auf der Baustelle zur Ausführung von Erdarbeiten Verwendung. Die freitäugige Tangente an die Oberflächenspiegel von Flüssigkeiten in kommunizierenden Gefäßen steht wagerecht. (Zu gleichem Zwecke wird die Schlauchwage verwendet.) Der Genauigkeitsgrad dieser Hilfsmittel ist gering.

c) Für Vermessungszwecke (an geodätischen Instrumenten) kommen nur die **Libellen** oder **Niveaus** in Betracht, um Linien oder Achsen wagerecht oder senkrecht zu stellen bzw. die kleinen Neigungen gegen die wagerechte oder senkrechte Lage zahlenmäßig zu bestimmen. Der Gefäßform nach unterscheidet man **Dosenlibellen** und **Röhrenlibellen**; letztere nach Art ihrer Fassung als **Setzlibellen**, **Reiter-** oder **Hänge-libellen** verwendet. Als Füllflüssigkeit kommen Spiritus, Weingeist, Schwefeläther in Betracht.

α) **Dosenlibelle**. Ein Gefäß in Dosenform durch eine plankonkave Glasplatte geschlossen, mit Flüssigkeit gefüllt, bis nur eine kleine Luftblase bleibt. Luftblase eilt nach dem höchsten Punkte hin, so daß der Halbmesser des jeweiligen **Blasenmittelpunktes** B senkrecht steht (Abb. 14); der Punkt S , dessen Halbmesser senkrecht zur Unterlage steht, ist der Spielpunkt; die auf dem Glasdeckel eingeritzte Mittelmarke (zwei kleine konzentrische Kreise) soll mit dem Spielpunkte zusammenfallen. Untersuchung und Bestimmung des Spielpunktes S ähnlich wie bei der Setzwage. Abweichung des jeweiligen Blasenmittelpunktes B von dem Spielpunkte S (Mittelmarke) ist als Ausschlag der Libelle ein Maß für die Neigung α der Unterlage.

Abb. 14.

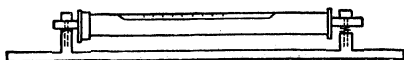


β) **Röhrenlibelle**. Sonderfall der Dosenlibelle; der Hohlraum ist (bei feineren Libellen) tonnenförmig, erhalten durch Drehung eines Kreisabschnittes um die Sehne als Achse. Um die mit der Temperatur veränderliche Luftblasenlänge nahezu konstant zu erhalten, ist eine Kammer oder Reservoir vorgesehen. Nur in Richtung der Sehne kann die Röhrenlibelle (im Gegensatz zur Dosenlibelle) verwendet werden. Nach der Fassung verschieden: Setzlibelle oder Reiterlibelle.

γ) **Setzlibelle**. Verbindung der Röhrenlibelle mit einer ebenen Unterlage derart, daß das eine Ende gegen das andere Ende scharnierartig senkrecht gehoben und gesenkt und in jeder Lage starr erhalten werden kann, erforderlich, um eine Setzlibelle zu justieren (Abb. 15). Um die Lage der Blasenmitte (durch Beobachten der Blasenenden) schärfer zu bestimmen, ist an der Glaswandung eine lineare Teilung

angebracht (bei der Libelle von Beiß-Zwicky ist die Teilung von der Glasröhre unabhängig angebracht); Nullpunkt entweder in der Mitte oder an einem Ende. Spielpunkt der Setzlibelle ist der Punkt, dessen

Abb. 15.



Halbmesser winkelrecht zur Unterlage steht; eine Setzlibelle justieren, heisst, die Mittelmarke (der Teilung) zum Spielpunkt machen (Durchführung der Justierung verschieden, je nachdem eine

bewegliche oder feste Unterlage zur Verfügung steht). Eine Setzlibelle ist justiert, wenn der Ausschlag (Abweichung der Blasenmitte von der Mittelmarke) in zwei um 180° verschiedenen Aufstellungen auf derselben Unterlagsgeraden derselbe ist in bezug auf die Richtung der Libelle. Zeigt die Libelle in den beiden Aufstellungen den gleichen Ausschlag in bezug auf dasselbe Libellenende (Schrauben- oder Nichtschraubenende), so steht die Unterlage wagerecht, und der Ausschlag ist der Libellenfehler, durch die Justierschrauben fortzuschaffen. Allgemein ist die nach dem Umsetzen sich zeigende Ausschlagänderung zur Hälfte gleich dem Neigungswinkel der Unterlage, zur anderen Hälfte gleich dem Libellenfehler, wovon bei Benutzung der Libelle Anwendung gemacht wird. Wird der Ausschlag als Maß für die Neigung im Winkelmaß verlangt, so ist die Kenntnis der **Angabe** oder (relativen) **Empfindlichkeit** der Libelle erforderlich.

Angabe ist der Winkel zwischen den Halbmessern zweier aufeinander folgenden Teilstriche und schwankt zwischen $1''$ (und darunter) und $30''$ (und darüber), welche Werte, bei einer Teilung nach Pariser Linien, Halbmessern von 474 m und 16 m entsprechen. Die Angabe wird am sichersten bestimmt mittels des **Lege Brettes** oder **Niveauprüfers**, einer Vorrichtung zum Messen kleiner Neigungswinkel mittels Mikrometerschraube.

d) **Reiterlibellen** zum Einrichten wagerechter Drehachsen, oder zur Bestimmung ihres Neigungswinkels sind mit geeigneten Libellenfüßen versehen, um auf der Achse reitend aufgesetzt oder angehängen zu werden. Wirken ganz wie eine Setzlibelle in bezug auf die Libellenfusausschnittsgerade, sind aber außer mit Stellschrauben im senkrechten Sinne (erforderlich zur Beseitigung der Ungleichheit der Libellenfufslängen) noch mit Stellschrauben im wagerechten Sinne zu versehen, um die **Kreuzung** fortzuschaffen. Für eine justierte Reiterlibelle (Kreuzung und Ungleichheit der Libellenfufslängen beseitigt, so daß Mittelmarktangente parallel der Fusausschnittsgeraden) ist der Ausschlag ein Maß für die Neigung der mechanischen Drehachse, wenn die Achszapfen gleichen Durchmesser haben; anderseits muß durch Umsetzen in den Lagern dieser Ungleichheit Rechnung getragen werden.

Senkrechtstellen von Achszapfen mittels Dosen- oder Röhrenlibelle, mit dem Achszapfen starr verbunden, ist erreicht, wenn beim Drehen um denselben die Blase ihre Stellung nicht ändert. In dieser Anordnung kommt bei der Libelle der **Spielpunkt des Systems** in Betracht, als Punkt der Libelle, dessen Halbmesser dem Achszapfen

parallel liegt; ist demnach die Libelle gegen die Achse verstellbar, so kann die Mittelmarke der Libelle zum Spielpunkte des Systems gemacht werden, z. B. Nivellierlatte mit verstellbarer Dosenlibelle: Ist die Mittelmarke Spielpunkt, so steht die Latte senkrecht, sobald die Blase auf der Mittelmarke einsteht; senkrechter Zapfen eines einfachen Nivellierinstrumentes mit stellbarer Röhrenlibelle.

Die Dosenlibelle kann zuweilen mit Vorteil durch eine **Kreuzlibelle** (zwei kreuzweise zueinander gestellte Röhrenlibellen) ersetzt werden. Bei feineren Nivellierinstrumenten kommen wohl auch **Reversionslibellen** in Anwendung, Libellen mit Doppelschliff, hergestellt derart, daß die Tangenten der Mittelmarken zueinander parallel sind.

D. Linsen.

Die Verwendung der Linsen beruht darauf, daß Lichtstrahlen beim Durchgange durch dieselben eine Abweichung ihres Weges (Brechung) erleiden, abhängig vom Brechungsindex und den Begrenzungsflächen. Von den verschiedenen Linsenformen kommen hier nur die Sammellinsen in Betracht. Die Begrenzungsflächen sind Kugelsegmente. Die Verbindung der bezüglichen Kugelmittelpunkte $M M'$ (Abb. 16) liefert die Achse der Linse. Die Öffnung der Linse $o-o$ bleibt für uns stets gering. Strahlen, parallel zur Achse, vereinigen sich nach dem Durchgange in einem Punkte der Achse, im Brennpunkte, im Abstände der Brennweite von der Linse. Alle Strahlen, von einem Punkte ausgehend, vereinigen sich nach dem Durchgange im Bildpunkte; derselbe liegt in der Achse, wenn der leuchtende Punkt in der Achse

Abb. 16.

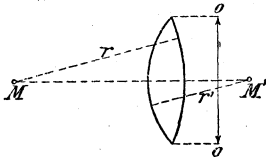
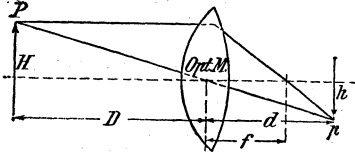


Abb. 17.



gelegen, allgemein auf dem Strahle, welcher durch den optischen Mittelpunkt der Linse geht; es ist dies derjenige Punkt, in der Achse der Linse gelegen, für welchen Strahlen, durch denselben hindurchgehend, keine Ablenkung, höchstens eine parallele Verschiebung erleiden. (Der optische Mittelpunkt liegt stets innerhalb der Linse, bei verschiedener Krümmung der Begrenzungsflächen der stärker gekrümmten Fläche zugewandt und bei einer plankonvexen Linse im Schnittpunkte der Achse mit der konvexen Fläche.) Leuchtender Punkt und sein zugehöriger Bildpunkt sind ihrer gegenseitigen Lage nach bestimmt durch die dioptrische Hauptformel, welche für unsere beschränkte Annahme bezüglich der Öffnung der Linse in der einfachsten, für

unsere Verwendung ausreichenden Form auftritt: $\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$; wo D die Gegenstands-, d die Bildweite und f die Brennweite der Linse ist (Abb. 17); die Lage des Bildpunktes p , zum Gegenstandspunkte P gehörend, wird mittels der Hauptstrahlen bestimmt. Das Bild h eines leuchtenden Gegenstandes H kommt reell auf der anderen Seite der Linse, und zwar umgekehrt zustande, wenn d positiv, was der Fall, wenn $D > f$. Rückt der Gegenstand in die Brennweite, also $D < f$, wird d negativ, und dann liegt das Bild, und zwar aufrechtstehend, auf derselben Seite der Linse. Größe des Bildes $h =$ Größe des Gegenstandes $H \cdot \frac{d}{D}$, so daß $\frac{d}{D}$ das Vergrößerungsverhältnis darstellt.

Zwei oder mehr Linsen miteinander vereinigt (Linsenkombination), lassen sich hinsichtlich ihrer Wirkungsweise ersetzen durch eine fingierte Linse gleicher Wirkung, für welche die Gleichung besteht $\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{fx}$, wo fx als äquivalente Brennweite abhängt von den Brennweiten der einzelnen Linsen und deren gegenseitigen Abständen.

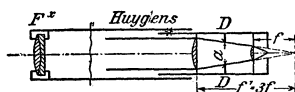
a) **Lupe.** Eine einfache oder zusammengesetzte Konvexlinse von kleiner Brennweite, welche von nahe gelegenen Gegenständen (feinen Teilungen) stark vergrößerte Bilder erzeugen soll. Stets wird die Gegenstandsweite D kleiner als die Brennweite f gemacht, wodurch erreicht wird, daß die Vergrößerung stets > 1 ; das Bild liegt, aufrecht stehend, auf derselben Seite. Damit das Bild vom Auge aus (gehalten zwischen Linse und Brennpunkt) am schärfsten, in der deutlichen Sehweite, gesehen werden kann, muß der Gegenstand in eine für das betreffende Auge feststehende Entfernung gebracht werden (normale deutliche Sehweite 20 bis 25 cm; für Kurzsichtige 10 cm und darunter, für Weitsichtige auf 50 cm anwachsend).

b) **Fernrohr** soll an den Meßgeräten vornehmlich eine scharfe Visierlinie, Visierachse, Kollimationsachse liefern und sodann vom Gegenstande ein vergrößertes Bild liefern. Ist aufzufassen als Kombination zweier Linsen oder Linsensysteme: **Objektiv** und **Okular** oder **Objektivsystem** und **Okularsystem**. Das Objektiv, einfach oder zusammengesetzt, ist eine Linse von relativ großer Brennweite und erzeugt vom Gegenstande, in dem D stets $> 2f$, ein reelles, umgekehrtes, verkleinertes Bild; bei unseren Meßgeräten stets aus mehreren Linsen zusammengesetzt, um die **Kugelabweichung** und die **chromatische Abweichung** möglichst unschädlich zu machen. Das Okular, stets aus mehreren Linsen zusammengesetzt, wirkt immer als Lupe, so daß das vom Gegenstande in bezug auf das Objektiv entstandene Bild, um vom Okular als Lupe betrachtet werden zu können, innerhalb der Brennweite des Okulars entstehen muß. Okular und Objektiv, einzeln in

Abb. 18.



Abb. 19.



Röhren gefaßt, müssen achsial gegeneinander (mittels Zahngetriebe) verstellt werden können, entsprechend den verschiedenen Gegenstandsweiten D .

Die an den Meßgeräten gebräuchlichsten Okularsysteme sind das Okular von Ramsden (schematische Darstellung in Abb. 18) und das Okular von Huygens oder Campani (Abb. 19).

Untersuchung der Leistungsfähigkeit eines Fernrohrs bezieht sich auf Untersuchung der optischen Kraft der Linsen, sodann auf die mechanische Ausführung. In bezug auf optische Kraft kommen in Betracht: Vergrößerung, Gesichtsfeld, Helligkeit, Deutlichkeit.

Vergrößerung ist das lineare Verhältnis zwischen Größe des Bildes im Fernrohr gesehen zur Größe des Gegenstandes mit freiem Auge gesehen (beides auf dieselbe Entfernung bezogen) oder Verhältnis zwischen der Größe der betreffenden Winkel. Dies Verhältnis ist genähert $v = \frac{F_x}{f_x} \cdot$ (Brennweite des Objektivsystems durch Brennweite des Okularsystems.)

Das praktisch einfachste Verfahren v zu bestimmen, ist folgendes: Man wirft das Bild eines Skalentheils einer Nivellierlatte auf die Latte zurück und zählt ab, wieviel Skalenteile jetzt überdeckt werden; dies Verfahren erfordert einige Übung, indem gleichzeitig mit einem Auge das Bild im Fernrohr und mit dem anderen Auge der Gegenstand selbst betrachtet werden muß.

Gesichtsfeld. Der bezüglich des Okulars nicht voll wirkende Teil des durch das Objektiv vom Gegenstande erzeugten Bildes wird durch den **Diaphragmaring** DD (vom Durchmesser a) gleich der wirksamen Oeffnung der Okularlinse fortgeschnitten (Abb. 18 u. 19) wodurch das Gesichtsfeld (der beim Durchblicken durch das Fernrohr gleichzeitig zu übersehende kegelförmige Raum) festgelegt wird. Als Maß für das Gesichtsfeld gilt der Oeffnungswinkel dieses Kegels, bestimmt durch Beobachten nach einer Skalenlatte.

Helligkeit des Fernrohrs ist stets geringer als diejenige des Sehens mit freiem Auge; letztere = 1 gesetzt, beträgt diejenige des Fernrohrs im Maximum 0,85; unter 0,50 wird bei der Anwendung nicht herabgegangen.

Deutlichkeit wird beurteilt durch Beobachten scharf gezeichneter dunkler Figuren auf hellem Grunde (auch nach Sternen, dann aber Vorsicht wegen Parallaxe); es darf das Bild keine Verzerrung der geraden Grenzlinien und möglichst wenig Farbenabweichung aufweisen.

Visier oder **Kollimationsachse** ist die Verbindungslinie vom optischen Mittelpunkt des Objektivs und Fadenkreuzpunkt; letzterer wird materiell erhalten, indem in der Diaphragmaebene ein Spinnfadennetz aufgespannt oder indem die Netzlinsen auf ein Glasplättchen geritzt und dieses an dem Diaphragmaring befestigt wird. Der Visierachse kann gegen die Fernrohrwandung eine bestimmte Lage gegeben werden durch Bewegung des Fadenkreuzpunktes mittels Stellschrauben. Das Objektiv als Träger des optischen Mittelpunktes wird für denselben Zweck nur selten verstellbar eingerichtet.

Einstellen eines Objektes. Das Fadennetz wird für das Auge in die deutliche Sehweite gebracht (durch Verschieben des Diaphragmas gegen das gesamte Okular bei Ramsden, oder der eigentlichen Okularlinse gegen das Diaphragma bei Huygens); darauf wird mittels Zahngetriebes das Okularsystem gegen das Objektivsystem bewegt, bis das Bild des Gegenstandes ebenfalls deutlich gesehen wird.

Parallaxe ist Abweichung der Bildebene von der Fadennetzebene; wird erkannt durch Bewegungen des Auges vor dem Schauloch des Okulars und muß der nicht zentralen Augenhaltung wegen beseitigt werden.

Wenn Handfernrohre aufrechtstehende Bilder erzeugen, erfordern sie im Vergleich zum einfachen Fernrohr ein Linsensystem mehr.

c) Mikroskope sind Fernrohre im kleinen und sollen von nahe gelegenen Gegenständen (Teilskalen) stark vergrößerte Bilder erzeugen. Hierbei ist das Objektivsystem eine Linse kleiner Brennweite, und der zu betrachtende Gegenstand wird in die Entfernung $D \begin{matrix} > 1f \\ < 2f \end{matrix}$ gebracht.

Wird in der Diaphragmaebene ein mittels Mikrometerschraube verschiebbarer Faden angeordnet (Schraubenmikroskop), so kann dadurch das zu betrachtende Teilintervall in seinem Bilde weiter untergeteilt werden (z. B. ein nach 10' direkt geteilter Kreis kann nach " abgelesen werden). Werden die Stellungen des beweglichen Fadens,

den vollen Umdrehungen der Mikrometerschraube entsprechend, durch eine in der Diaphragmaebene befestigte Glasskala ersetzt, so erhält man ein Schätzmikroskop.

E. Instrumente zum Messen von Winkeln.

a) Der **einfache Theodolit** zum Messen von Horizontalwinkeln. Seine wesentlichen Bestandteile sind (Abb. 20): **Limbus** oder Teilkreis L in fester Verbindung mit dem Untergestell u , welches mittels dreier Stellschrauben auf dem Stativ oder Beobachtungspfeiler aufsteht;

Senkrechter Zapfen V zentrisch zum Limbus im Untergestell (als Büchse) gelagert; mit dem Zapfen fest verbunden die **Alhidade** (Alhadenkreis) AA als Indexträger sowie der Aufbau als Lager für das

Fernrohr FF , welches die Zielachse oder Kollimationsachse liefert;

Libelle (Dosen-, Röhren- oder Reiterlibelle), verschieden angeordnet in Verbindung mit V . Zapfen V , Kippachse des Fernrohrs und Kollimationsachse müssen zueinander winkelrecht stehen, in ihren Verlängerungen in einem Punkte sich

schneiden; Zapfen V (mittels Libelle senkrecht gestellt) muß verlängert durch den Aufstellungsgrat gehen.

Jeder ausgeführte Theodolit ist mit **Fehlern** behaftet,

a) solchen, welche durch Justiervorrichtungen beseitigt bzw. auf das kleinste Maß herabgedrückt werden können,

b) solchen, welche nicht wegjustierbar sind, und deren Einfluß auf das Ergebnis, ebenso wie der verbleibende Restfehler aus a, durch Kompensation unschädlich gemacht werden müssen.

Zu a): 1. **Kollimationsfehler** γ (Abb. 21) (Abweichung der Ziellinie von der Stellung 90° zur Fernrohrdrehachse) wird erkannt u. a. durch Umliegen in den Lagern (nach 2γ), durch Durchschlagen und Drehen (nach 4γ) und wird beseitigt durch die wagerecht wirkenden Stellschrauben des Fadennetzes am Fernrohr (soll eine ausgesteckte Linie mit Hülfe des Theodoliten verlängert werden, dann Durchschlagen und Umliegen in den Lagern).

2. **Neigungsfehler** i der Fernrohrdrehachse gegen die Wagerechte. Bei einem Instrument mit Reiterlibelle wird der Zapfen scharf senkrecht gestellt; der Ausschlag der justierten Reiterlibelle gibt den Neigungsfehler i ; er wird fortgeschafft durch Justieren an dem einen beweglich eingerichteten Achslager. Bei einem Instrument ohne Reiterlibelle wird ein hoch gelegener Punkt auf eine im Horizont der

Abb. 20.

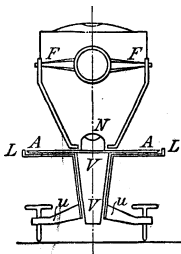
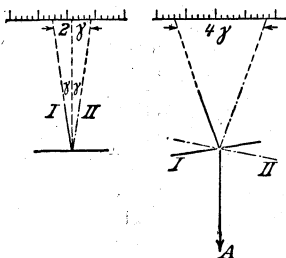


Abb. 21.



Fernrohrachse gelegte Skala in beiden Fernrohrlagen herunterprojiziert; darauf wird das Fernrohr auf den Halbierungspunkt eingestellt, nach dem ursprünglichen Punkte zurückgekippt und die Visierlinie mittels der Achslagerkorrektur auf den Punkt zum Einstehen gebracht.

Zu b: 1. Limbus und Alhidadenzentrum fallen nicht zusammen: es entsteht **Exzentrizität** der Alhidade; wird unschädlich gemacht durch Ablesen an zwei (nahezu) diametral gegenüberstehenden Indizes und Mittelbildung oder durch Ablesen an einem Index, aber Beobachten in zwei Fernrohrlagen und Mittelbildung.

2. Verlängerte Visierachse schneidet nicht den Vertikalzapfen: es entsteht **Exzentrizität** der **Ziellinie** (bei einzelnen Instrumenten zur Erzielung einer gedrungenen Bauart absichtlich angeordnet); sie wird unschädlich gemacht durch Beobachten in zwei Fernrohrlagen und Mittelbildung.

Die verbleibenden Achsfehler: v Schiefstellung des Zapfens, i Neigungsfehler der Drehachse und Kollimationsfehler γ erzeugen die entsprechenden Projektionsfehler (v) , (i) , (γ) mit dem Höhenwinkel h des anvisierten Punktes veränderlich; es ist $(v) = v \operatorname{tg} h \cos$ Hülfswinkel;

$$(i) = i \operatorname{tg} h; (\gamma) = \gamma \left(\frac{1}{\cos h} - 1 \right).$$

Durch Beobachten an zwei diametral angebrachten Indizes in beiden Fernrohrlagen und Mittelbildung werden die Fehlereinflüsse, herrührend von i und γ (namentlich wenn sie klein gehalten werden), vollständig beseitigt; hingegen kann der Fehler, herrührend von v , durch das Beobachtungsverfahren niemals beseitigt werden (deshalb Vorsicht beim Senkrechtstellen, namentlich wenn stark ansteigende oder geneigte Visuren in Betracht kommen).

Das **Einstellen** eines Objekts (Bildpunkt mit Fadenkreuzpunkt zusammenfallend) erfolgt roh freihändig, fein mittels der **Klemm-** oder **Bremsvorrichtungen** (Randklemmen, Zentralklemmen).

Ablesevorrichtungen: Nonien (Schätz- und Schraubenmikroskope). Ist die Hauptteilung nach der Einheit J (z. B. 20') unterteilt, so wird der Indexträger mit einer Nebenskala nach der Teilungseinheit N so versehen, daß die Beziehung besteht

$$\left. \begin{aligned} (n-1)J &= nN \text{ für nachtragende} \\ (n+1)J &= nN \text{ für vortragende} \end{aligned} \right\} \text{Nonien,}$$

$$J - N \text{ bzw. } N - J = \frac{J}{n} = a = \text{Angabe des Nonius.}$$

Der Nullpunkt der Neben- oder Nonienskala ist stets der Index, dessen Stellung gegen die Hauptteilung abgelesen werden soll. Fällt der m -Teilstrich der Nonienskala mit einem Teilstrich der Hauptskala zusammen, so ist der Abstand des Index vom nächst vorhergehenden Teilstriche der Hauptskala $aJ < J = ma$.

(Kreisteilungen zeigen nur nachtragende Nonien; Bedeutung und Verwendung der Ueberstriche.)

Beim **Repetitionstheodoliten** wird die Lage des Limbus gegen das Untergestell verstellbar gemacht durch Anordnung eines Doppelachsensystems.

Messung der Winkel: nach dem **einfachen Winkel** (einzeln oder nach dem Repetitionsverfahren), wenn nur zwei Richtungen im Scheitel-

punkt einlaufen, oder nach **Richtungen**, wenn $n > 2$ Richtungen einlaufen; für die verschiedenen Fälle gesonderte Schemata, oder, die einfache Winkelmessung als besonderer Fall der Richtungsmessung angesehen, ein gemeinsames Schema für Messung nach Richtungen. Beispiel:

Punkt	Ablesung am Kreise		Mittel	Richtung	Standmittel	Gesamt- mittel	Bemerkungen
	Nonius I	Nonius II					
	0 " "	" " "	0 " "	0 " "	0 " "	0 " "	
Im Punkte 13							
14	0 03 00	02 30	0 02 45	0 00 00	0 00 00		
12	59 38 30	39 00	59 38 45	59 36 00	59 35 45		
1	103 17 30	17 45	103 17 38	103 14 53	103 14 45		
(durchgeschlagen)							
1	283 17 30	18 00	283 17 45	103 14 37			
12	239 38 00	39 15	239 38 38	59 35 30			
14	180 02 45	03 30	180 03 08	0 00 00			

und weitere an äquidistanten Stellen beobachtete Stände.

Theodolit zum Messen von Höhenwinkeln (Tiefenwinkeln), **Zenitdistanzen**. Hierzu erforderlich ein senkrechter Teilkreis, fest mit der Fernrohrdrehachse verbunden, und parallel hierzu eine Röhrenlibelle (nicht Dosenlibelle), welche praktisch bequem mit dem Indexträger verbunden ist, bei einfacheren Instrumenten mit dem Aufbau verbunden. Alle Ablesungen am senkrechten Kreise erfolgen für anvisiertes Objekt bei einspielender Libelle. Je nach der Bezifferung des Senkrechtkreises werden Höhenwinkel α oder Zenitdistanzen z erhalten (letzteres bequemer), wo dann $\alpha + z = 90^\circ$ und z von 0 bis 180° ; z unter 90° entspricht einem Höhenwinkel, z über 90° " " Tiefenwinkel.

Der **Indexfehler** (entspricht der Lage der wagerechten oder senkrechten Visur: Horizontpunkt oder Zenitpunkt), um welchen alle Einzelablesungen fehlerhaft sind, wird durch Beobachten in beiden Fernrohrlagen nach demselben Objekt ermittelt. Das Mittel selbst ist vom Indexfehler frei. (Lage des Zenitpunktes bei $\frac{A_1 + A_2 + 360}{2}$, wenn

A_1 und A_2 die Mittel aus den Ablesungen an den Indizes in der ersten und zweiten Fernrohrlage bedeuten.) Der Indexfehler wird beseitigt, je nach der konstruktiven Anordnung, entweder durch Verstellen des Fadennetzes oder der Indizes (fliegende Nonien).

b) Bussoleninstrumente.

(Für Messungen unter der Erde von großer Wichtigkeit, über der Erde mit Vorteil hauptsächlich zu Kontrollmessungen, Orientierungen und Aufnahmen untergeordneter Bedeutung verwendet.)

Teilkreise höchstens auf $1/2^\circ$ unterteilt; Visuren dioptrisch oder mittels Fernrohre von geringer Leistungsfähigkeit. Gemessen werden magnetische Azimute (als Horizontalwinkel zwischen Visierebene und magnetischem Meridian). Genauigkeit im Vergleich zur Messung mit dem Theodoliten viel geringer (im Verhältnis 1:10), wodurch das Verwendungsgebiet festgelegt ist. Statt Ablesungen in der Ruhelage

der Nadel (zeitraubend und fehlerhaft), wird die der Ruhelage entsprechende Ablesung aus drei aufeinander folgenden Amplitudenbeobachtungen abgeleitet,

$$\text{Resultat} = \frac{a_1^r + 2a_1^e + a_2^r}{4} = \frac{a_1^e + 2a_2^r + a_2^e}{4} \text{ usw.}$$

Für den Handgebrauch ist **Schmalkalders Patentbussole** sehr bequem.

Sollen die Bussoleninstrumente zur Orientierung von Plänen verwendet werden, so ist die **Deklination** zu berücksichtigen (säkulare, täglich periodische und täglich unregelmäßige Schwankungen).

Zur Winkelmessung ohne feste Aufstellung dienen die Reflexionsinstrumente, z. B. der **Spiegelsextant**.

F. Anordnung von Polygonzügen.

Um eine zusammenhängende Horizontalaufnahme durchzuführen, wird ein System von Stützpunkten und Stützlinien (Vermessungsachsen) als

Grundgerippe verlangt, gegen welche im Detail beliebig viele Punkte (nach rechtwinkligen ebenen Koordinaten) weiter festgelegt werden können. Dieses Grundgerippe wird in sich festgelegt durch Kombination von Längenmessungen mit (Horizontal-)Winkelmessungen. Auf Grund der Messungen erfolgt die Berechnung der Koordinaten der Punkte und darauf gestützt die Anfertigung des Planes (in verjüngtem Maßstabe). Die Richtung der $+x$ -Achse ist entweder gegeben oder beliebig gewählt, dann wird die Richtung der $+y$ -Achse erhalten durch **Rechtsdrehen der $+x$ um 90°** (amtlich vorgeschrieben).

a) Allgemeine Bezeichnungen und Beziehungen. $n-1, n, n+1$ drei aufeinander folgende Punkte des Zuges (Abb. 22).

S = Streckenlänge (ohne Vorzeichen),

β_n = Brechungswinkel, zählt von 0 bis 360° , überstrichen von dem Schenkel nach dem vorhergehenden Punkte durch Rechtsdrehen nach dem folgenden Punkte,

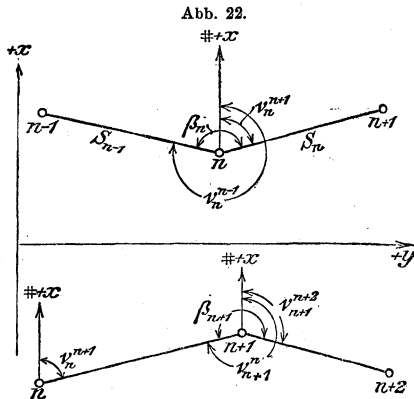


Abb. 22a.

$\nu_n^{\pm 1}$ = Neigungswinkel der Strecke, ausgehend vom Punkte n nach dem Punkte $n \pm 1$, gegen die durch den Punkt n gelegte Parallele zur x -Achse, zählt von 0 bis 360° ,

$$y_{n+1} = y_n + \Delta y_n; \quad x_{n+1} = x_n + \Delta x_n,$$

$$\nu_{n+1}^{\pm 1} = \nu_n^{\pm 1} \pm 180^\circ; \quad \nu_{n+1}^{\pm 2} = \nu_n^{\pm 1} \pm 180^\circ + \beta_{n+1} \text{ (Abb. 22a).}$$

I. Hauptaufgabe.

Gegeben: P_n durch $y_n x_n$; S_n und ν_n^{+1} ,

gesucht: P_{n+1} durch $y_{n+1} x_{n+1}$.

$$\Delta y_n = S_n \sin \nu_n^{+1};$$

$$\Delta x_n = S_n \cos \nu_n^{+1};$$

$$y_{n+1} = y_n + \Delta y_n;$$

$$x_{n+1} = x_n + \Delta x_n.$$

II. Hauptaufgabe.

Gegeben: P durch $y_P x_P$; Q durch $y_Q x_Q$,

gesucht: $S_P^Q = S$ und ν_P^Q .

$$\operatorname{tg} \nu_P^Q = \frac{y_Q - y_P}{x_Q - x_P}; \quad S = \frac{y_Q - y_P}{\sin \nu_P^Q} = \frac{x_Q - x_P}{\cos \nu_P^Q}$$

$$\left(\text{evtl. zur Kontrolle } \operatorname{tg} (45 + \nu_P^Q) = \frac{(x_Q + y_Q) - (x_P + y_P)}{(x_Q - y_Q) - (x_P - y_P)} \right).$$

Für die Berechnung von S wird $\log \sin \nu$ und $\log \cos \nu$ unmittelbar aus $\log \operatorname{tg}$ in der Logarithmentafel interpoliert. Der Quadrant von ν (0 bis 360°) ist durch das Vorzeichen der Koordinatendifferenzen bestimmt:

ν liegt im	I.	II.	III.	IV. Quadranten, wenn
$\frac{\Delta y}{\Delta x}$:	$\frac{+}{+}$	$\frac{+}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{+}$.

Werden die β eines Polygonzuges mit dem Theodoliten gemessen:

b) Theodolitpolygonzug. 1. offener Zug, wenn der letzte Punkt mit dem ersten nichts gemein hat; in der Bearbeitung einfach, jedoch ohne summarische Kontrolle (Bussole zur Kontrolle).

2. geschlossener Zug, wenn der Zug in sich zurückläuft, also P_n mit P_0 und P_{n+1} mit P_1 zusammenfällt; gewährt eine summarische Kontrolle und findet Verwendung bei vollständig unabhängig durchgeführten Aufnahmen.

3. offener, zwangsweise geschlossener Zug, zwischen zwei ihrer gegenseitigen Lage nach bereits bestimmte Punkte zwischengespannt (zur Verdichtung der Stützpunkte und Stützlinsen angeordnet), gewährt wie 2. eine summarische Kontrolle. Um 2. und 3. eindeutig zu bestimmen, sind $2n - 3$ voneinander unabhängige, gemessene Stücke

1. nach Verhältnis der Streckenlängen S ,
2. „ „ „ absoluten Längen der Koordinatenunterschiede,
3. „ „ „ Summen aus Streckenlängen und Koordinatenunterschieden.

Je kleiner $f_y f_x$ selbst (also je sorgfältiger gemessen), umsomehr führen die verschiedenen Näherungsverfahren auf dasselbe Ergebnis. Um f_β klein zu erhalten, ist bei der Messung des β auf sorgfältigste Zentrierung des Theodoliten und der Objekte zu achten.

c) Bussolenpolygonzug (β mit der Bussole gemessen) ist im Vergleich mit dem Theodolituzug im einzelnen ungenauer, zeigt aber eine günstigere Fehlerfortpflanzung in bezug auf ν . Theodolitzüge sind mit möglichst langen Streckenlängen, Bussolenzüge mit möglichst kurzen Streckenlängen anzuordnen. Bei der Bussolenmessung wird der Neigungswinkel jeder Strecke unabhängig doppelt erhalten; soll diese günstige Kontrolle nicht ausgenutzt werden, kann man mit **Sprungständen** arbeiten, indem nur in jedem zweiten Punkte das Bussolensinstrument aufgestellt wird.

G. Kleintriangulation.

Bei mehr geschlossener Geländeform wird ein System von Stützpunkten im Gelände so ausgewählt, daß die Verbindungslinien als Seiten von Dreiecken auftreten, die sich in der einfachsten Form zur Dreieckskette (jedes folgende Dreieck hat mit dem vorhergehenden eine Seite gemein), allgemein zum Dreiecksnetz (hier Kleintriangulationsnetz) zusammenschließen. Bei Anschluß an eine bestehende Vermessung sind zur Festlegung nur Horizontalwinkelmessungen erforderlich, indem Seitenlänge und Orientierung aus der bestehenden Vermessung hervorgeht, sonst außer der Winkelmessung die Messung (mindestens) einer Seite und die Orientierung erforderlich. Letztere entweder durch Messen des astronomischen Azimuts einer Seite oder in vielen Fällen ausreichend mittels Bussoleninstruments. Die Kleintriangulation hat den Vorzug der praktisch bequemen Durchführung, indem hauptsächlich Winkelmessungen in Betracht kommen, aber, was viel wichtiger ist, die Kleintriangulation gewährt schrittweise im Schlußfehler der einzelnen Dreiecke eine Kontrolle, während beim Polygonzuge nur am Ende eine summarische Kontrolle vorliegt. Ist der mittlere Fehler eines gemessenen Winkels $= m$, so darf der Dreieckschlußfehler betragen $\pm m\sqrt{3}$.

Die Ausgleichung der gemessenen Winkel einer einfachen Dreieckskette erfolgt, indem man den Schlußfehler (sobald derselbe zulässig) auf alle drei Winkel gleichmäßig verteilt; in Dreiecksnetzen infolge der auftretenden Seitengleichungen umständlicher. Die Dreiecke selbst werden als ebene Dreiecke aufgefaßt, indem der sphärische Exzeß, welcher bei einem gleichseitigen Dreiecke von rund 21 km Seitenlänge erst 1" beträgt, vernachlässigt wird. Für die ausgeglichene Netzfigur müssen die Koordinaten der Punkte, unabhängig vom Rechnungswege, innerhalb der Rechnungsabrundung gleich sein.

Gegen Punkte der Kleintriangulation bzw. des Polygonzuges können neue Punkte lediglich durch Horizontalwinkelmessung festgelegt werden nach den Methoden der

a. Trigonometrischen Punktbestimmung durch

1. **Einschneiden** (vorwärts und seitwärts), wodurch immer nur ein Punkt neu bestimmt wird von beliebig vielen (mindestens zweien) aus.

2. **Einschalten**, mehrere Punkte gleichzeitig gegen mindestens drei gegebene Punkte.

3. **Einketten**, beliebig viele Punkte in einer Dreieckschette angeordnet zwischen zwei gegebene Punkte eingespannt.

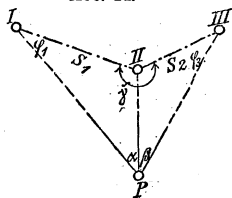
4. **Rückwärtseinschneiden** (Snellius- oder Pothenot-Verfahren), ein neuer Punkt (Aufstellungspunkt des Theodoliten) wird festgelegt, indem die Richtungen nach drei gegebenen Punkten gemessen werden.

5. Nach **Aufgabe der unzugänglichen Distanz**: Zwei neue Punkte werden gegen zwei gegebene Punkte festgelegt, indem nur in den neuen Punkten Winkel gemessen werden.

Für Ingenieurzwecke sind die Verfahren unter 4. und 5. von besonderer Wichtigkeit.

Zu 4. Punkt P ist eindeutig bestimmt, wenn in P die Winkel α und β nach den der Lage nach (durch ihre Koordinaten) gegebenen Punkten I II III gemessen werden (Abb. 24). Die Aufgabe ist trigonometrisch gelöst, sobald die Winkel φ_1 und φ_3 aus den gegebenen und gemessenen Stücken ermittelt werden. Aus den Koordinaten der gegebenen Punkte wird $S_1 S_2$ und γ ermittelt, dann ist

Abb. 24.



$$a) \quad \frac{\varphi_1 + \varphi_3}{2} = 180 - \frac{\alpha + \beta + \gamma}{2} \text{ bekannt;}$$

wird

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_3} = \frac{\frac{\sin \alpha}{S_1}}{\frac{\sin \beta}{S_2}} = \cotg \mu \text{ (wo } \mu \text{ Hülfswinkel) gesetzt, so ist}$$

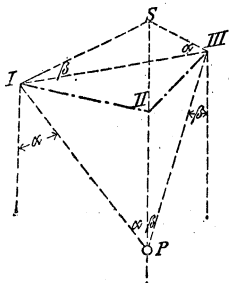
$$b) \quad \tg \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} = \tg \frac{\varphi_1 + \varphi_3}{2} \tg (45 - \mu);$$

aus a) und b) werden φ_1 und φ_3 einzeln erhalten, dann können die Entfernungen von P nach I II III berechnet werden und die Uebertragung der Koordinaten von I II III nach P erfolgen. Die Aufgabe wird unmöglich, wenn P und die drei gegebenen Punkte auf demselben Kreise liegen. Die Punktbestimmung von P wird gut, wenn P im Innern des Dreiecks I II III liegt oder wenn dies Dreieck dem Punkte P eine ausspringende Ecke zukehrt.

Konstruktive Lösung. I II III nach den gegebenen Koordinaten im verjüngten Maßstabe aufgetragen; gegen I III in $I \nless \beta$, in $III \nless \alpha$

angetragen, liefert den Schnittpunkt S , so daß P auf SII mit SII auf demselben Kreise liegt; an den Parallelen SII in I den $\sphericalangle \alpha$ oder in III den $\sphericalangle \beta$ abgesetzt, liefert den Punkt P (Abb. 25).

Abb. 25.



Sonderfall der Aufgabe 4. I II III liegen in derselben Geraden, also $\gamma = 0$, gesucht Entfernung PII ; indirekte Entfernungsmessung bei Ermittlung von Zentrierungselementen.

Sind in P die Richtungen nach $n > 3$ Punkten beobachtet, so ist die Aufgabe überbestimmt, und die endgültige Lage von P (nach Koordinaten) wird am sichersten und einfachsten erhalten unter Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate.

Zu 5. Gegeben die Punkte I und II durch ihre Koordinaten, so ist S , event. ν_I^{II} bestimmt. Werden in den zu bestimmenden Punkten A und B die Winkel $\alpha \beta \gamma \delta$ gemessen, so ist die Aufgabe eindeutig bestimmt und trigonometrisch gelöst, wenn z. B. φ_2 und ψ_2 einzeln ermittelt.

Es ist (Abb. 26)

a) $\varphi_2 - \psi_2 = 180 - (\beta + \gamma + \delta)$, ferner IA doppelt dargestellt

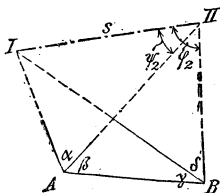
$$\frac{S \sin \psi_2}{\sin \alpha} = \frac{S \sin \varphi_2}{\sin \delta} \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin (\alpha + \beta)} \quad \text{oder} \quad \frac{\sin \varphi_2}{\sin \psi_2} = \frac{\sin \delta}{\sin \alpha} \cdot \frac{\sin (\alpha + \beta)}{\sin \gamma} = \cotg \lambda$$

(als Hülfswinkel) gesetzt, liefert

$$b) \quad \tg \frac{\varphi_2 + \psi_2}{2} = \tg \frac{\varphi_2 - \psi_2}{2} \cdot \tg (45 + \lambda);$$

aus a) und b) sind φ_2 und ψ_2 einzeln bestimmt und kann nun die Berechnung der Entfernungen und Uebertragung der Koordinaten von I und II nach A und B erfolgen. Die Aufgabe wird unmöglich, wenn A und B zugleich in der Strecke I—II oder deren Verlängerung liegen; ein Punkt, in oder nahe in der Strecke gelegen, beeinträchtigt die Schärfe der Lösung nicht, wenn die Rechen-

Abb. 26.



probe $\frac{\sin \varphi_2}{\sin \psi_2} = \cotg \lambda$ ausgenutzt wird.

Eine indirekte Lösung von Delambre, ausgehend von der Strecke $A-B$, findet u. a. Anwendung zur indirekten Entfernungsbestimmung I—II mit Hilfe der gemessenen Standlinie $A-B$.

Konstruktive Lösung (Abb. 27). Wird Strecke I—II in gewähltem Maßstab aufgetragen und im Halbierungspunkt eine Normale errichtet, so müssen auf derselben die Mittelpunkte m und m_1 der Konstruktionskreise K und K_1 liegen; durch Antragen von $90 - \alpha$ bzw. $90 - \delta$ an

die Sehne $I II$ erhält man die Punkte m und m_1 selbst und somit K und K_1 ; trägt man sodann an $I II$ in I den Winkel β und in II den Winkel γ an, so erhält man die Punkte A_1 und B_1 , und die Gerade $A_1 B_1$ gezogen, liefert mit den Konstruktionskreisen die Punkte A und B . $AB I II$ ist die gesuchte Figur.

b. Flächeninhaltsermittlung.

Mechanische Quadratur erfolgt, gestützt auf Messungsdaten oder auf einem in gegebenem Maßstabe gezeichneten Plan. Die Auswertung erfolgt rechnerisch für die gemessenen bzw. abgegriffenen Meßzahlen oder graphisch auf mechanischem Wege.

1) **Auf rechnerischem Wege.** Ein geradlinig begrenztes n -Eck, durch die Koordinaten der Eckpunkte gegeben, wird im Flächeninhalt ermittelt nach der Summenformel

$$2F = \sum y_n (x_{n+1} - x_{n-1}) = - \sum x_n (y_{n+1} - y_{n-1}).$$

Ist das N -Eck (Achteck, Abb. 28) im Plane gezeichnet, z. B. in folgender Weise: Parallel zu zwei Eckpunkten 1 und 3 werden die Parallelen a, b, c, d, e gezogen und auf einer hierzu Senkrechten III die Größen $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6$ abgegriffen, so ist

$$2F = a(h_1 + h_2) + b(h_2 + h_3) + c(h_3 + h_4) + d(h_4 + h_5) + e(h_5 + h_6);$$

geht das n -Eck in ein n -Eck von unendlich kleinen Seiten über und kann dann $h_1 = h_2 = h_3 \dots = h$ gesetzt werden, wird

$$F = h(a + b + c + \dots).$$

Ist eine Fläche beliebig krummlinig begrenzt und wird durch Parallelen im Abstand h (Abb. 29) geschnitten, so ist angenähert

$$F = (y_0 + y_m) \frac{h}{2} +$$

$$+ h(y_1 + y_2 + \dots + y_{m-1})$$

(entspricht streng der geradlinigen Begrenzung zwischen zwei aufeinander folgenden Punkten). In diesem Falle F genauer unter Anwendung der Simpson'schen Regel: wonach die unbekannte Kurve durch eine parabolische Interpolationskurve von der Form $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x_n$ ersetzt wird, welche mit der ursprünglichen Kurve eine Reihe von Punkten $0 1 2 \dots n$ gemeinsam hat.

Abb. 27.

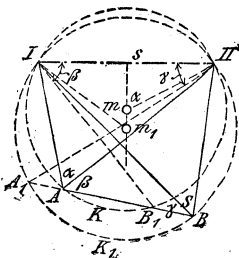


Abb. 28.

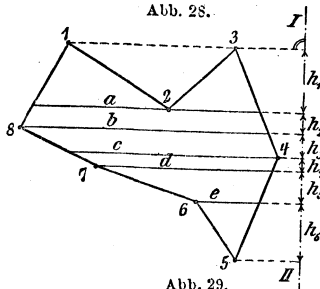
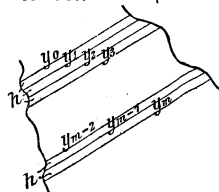


Abb. 29.



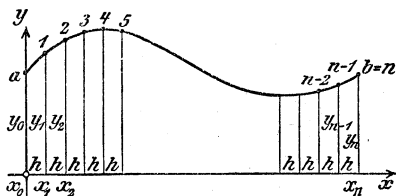
Der Inhalt der Fläche $x_0 a b x_n$ ist

$$J = \int_{x_0}^{x_n} y \, dx.$$

In der Praxis wird die Sache dadurch vereinfacht, daß man, statt eine Interpolationskurve anzuwenden, welche mit der Kurve n Punkte gemeinsam hat, die Fläche durch Parallelen zu den Ordinaten in einzelne Abschnitte i zerlegt, wo dann jedem Abschnitt eine eigene

Interpolationskurve zugehört, welche mit der ursprünglichen Kurve eine geringere Anzahl Punkte gemeinsam hat.

Abb. 30.



Anwendung: Der Inhalt J einer Fläche (Abb. 30), begrenzt durch y , die Kurve ab , die Abszissenachse x und die Ordinaten $y_a = y_0$ und $y_b = y_n$, ist zu bestimmen; parallel zur y -Achse in äquidistanten Abständen h

werden die Ordinaten y_1, y_2, \dots, y_{n-1} gezogen und gemessen; soll jeder Teilabschnitt begrenzt sein durch Abszissenachse, Kurvenstück und die Ordinaten zweier aufeinander folgenden Punkte, würde $i_1 = 0$ a 1 x_1 0 sein.

$$i_1 = \int_0^h y \, dx; \quad y = a_0 + a_1 x; \quad \left. \begin{array}{l} \text{für } x=0 \text{ ist } y=y_0 \\ \text{,, } x=h \text{ ,, } y=y_1 \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{also } a_0 = y_0 \\ a_1 = \frac{y_1 - y_0}{h} \end{array}$$

$$i_1 = a_0 h + \frac{a_1 h^2}{2}$$

$$i_2 = \frac{h}{2} (y_1 + y_2)$$

$$i_1 = \frac{h}{2} (y_0 + y_1)$$

$$i_{n-1} = \frac{h}{2} (y_{n-1} + y_n)$$

$$J = \sum i = \frac{h}{2} (y_0 + y_n) + h (y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1});$$

faßt man je drei Punkte zusammen, also $i_1 = 0$ a 1 2 x_2 0, so wird

$$i_1 = \frac{h}{3} (y_0 + 4 y_1 + 2 y_2) \quad \text{und} \quad J = \sum i = \frac{h}{3} (y_0 + y_n)$$

$$+ 4 \sum y \text{ mit ungeradem Index} + 2 \sum y \text{ mit geradem Index.}$$

Faßt man z. B. fünf Elemente zusammen: $y_0 y_1 y_2 y_3 y_4$ und $h=1$,

so entsteht $i = \frac{2}{45} (7 y_0 + 32 y_1 + 12 y_2 + 32 y_3 + 7 y_n)$.

Anwendung: Ermittlung von Erdmassen oder gestauten Wassermassen, indem die Querprofilflächen bzw. die Flächen, durch dieselbe Horizontalkurve begrenzt, als Ordinaten y eingehen.

Amtliche Vorschriften. Jede Einzelberechnung hat doppelt zu erfolgen, womöglich auf anderem Wege; Flächen kleiner als 1 Ar dürfen nur unter Verwendung unmittel-

barer Messungszahlen ermittelt werden. Bei größeren Flächen (im Plane festgelegt) kann die eine Ermittlung auch graphisch erfolgen. Ausnahmsweise können auch beide Bestimmungen auf Grund des Planes erfolgen unter Anwendung guter Planimeter, Wege und Bachflächen von wechselnder Breite aus Gesamtlänge und mittlerer Breite abzuleiten, ist unzulässig (Zerlegen in einzelne Abschnitte). Die auf doppelte Weise ermittelten Werte dürfen voneinander abweichen um höchstens $\Delta f = 0,01 \sqrt{60f + 0,02f^2}$, Δf und f in Ar verstanden.

2) Auf **graphischem** (mechanischem) **Wege** (mechanische Quadratur unter Zugrundelegung des Planes).

a) **Quadrat- oder Fadenplanimeter.** Auf einem Holz- oder Metallrahmen ist durch aufgespannte Fäden ein Netz quadratischer Maschen hergestellt (genauer und für die Anwendung bequemer, auf einer Glasplatte eingeritzt); auf den Plan aufgelegt, wird abgezählt, wieviel (n) Felder des Netzes von der Fläche überdeckt werden; der Flächenwert eines Feldes wird auf Grund des Maßstabes des Planes ermittelt.

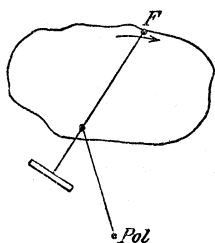
β) **Gewichtplanimeter.** Die zu ermittelnde Fläche wird ausgeschnitten und gewogen = G ; hierauf werden z. B. 10 000 qm gezeichnet, ausgeschnitten und gewogen = g , so ist $J = \frac{G}{g} \cdot 10\,000$ qm. (Genauigkeit gering).

γ) **Verwandlungsplanimeter.** Das geradlinig begrenzte N-Eck (wenn krummlinig begrenzt, durch ausgleichende geradlinige Begrenzung ersetzt) wird konstruktiv in ein flächengleiches Dreieck umgewandelt, dessen Grundlinie in der Richtung einer Seite des N-Ecks gelegen und dessen Spitze mit einem Eckpunkte desselben zusammenfällt. Messen von Grundlinie und Höhe liefert den Inhalt. (Mechanisch verwertet bei Wagners Planimeter, wo das N-Eck konstruktiv in Vierecke zerlegt wird.)

Alle diese Hilfsmittel sind verdrängt durch

δ) Die **eigentlichen Planimeter**, welche den Flächeninhalt einer beliebig begrenzten Fläche durch bloßes Umfahren längs deren Begrenzungslinien liefern. Entspricht dem vollen Umfahren eine Ablesung am Instrument von n Einheiten, und ist der Flächenwert einer Einheit entsprechend = f , so ist $J = n f$; der Einheitswert f

Abb. 31.



wird unter Benutzung des Probelineals oder durch Umfahren einer im Maßstabe des Planes gezeichneten Probefigur (Netzmasche) ermittelt, z. B. 10 000 q = m Einheiten ist $f = \frac{10\,000}{m}$ und $J = n \frac{10\,000}{m}$ qm. (Durch Justieren kann der Einheitsflächenwert f auf eine runde Zahl gebracht werden); in einfachster Form: Amslers Polarplanimeter (schematisch dargestellt in Abb. 31). Amtlich zulässig nur für Pol außerhalb der Figur, durch Zerlegen der Figur stets zu erreichen.

Genauigkeitsgrad $\frac{1}{300}$.

Ist die Niveaulfläche eines Punktes dessen wahrer Horizont, so ist die Horizontebene desselben Punktes als Tangentialebene dessen scheinbarer Horizont; beide weichen in ihrem Verlaufe voneinander ab, und diese Abweichung beträgt

$$\left. \begin{array}{l} \text{wegen Erdkrümmung allein auf rd. 113 m} \\ \text{Erdkrümmung und Strahlenbrechung auf rd. 121 m} \end{array} \right\} = 1 \text{ mm.}$$

a. Beim **geometrischen Nivellement**, der genauesten Höhenbestimmung wird der scheinbare Horizont mittels des Instrumentes festgelegt; auf beliebige Entfernungen kann nach diesem Verfahren durch Einschalten von Zwischenpunkten (Wechselpunkten innerhalb 100 m Entfernung) der Höhenunterschied ermittelt werden, innerhalb geringer Grenzen sicher. Der Nivellierapparat besteht aus dem eigentlichen Nivellierinstrumente (soll den scheinbaren Horizont charakterisieren bzw. fixieren) und sodann aus einer mit einer Teilung versehenen Latte, der Nivellierlatte, an welcher, senkrecht gehalten, der Abstand des zweiten Punktes von dem scheinbaren Horizonte des ersten Punktes gemessen wird. (Die einfachsten Nivellierapparate sind Setzlatte mit Setzwaage, Staffellapparat, Kanal- oder Wasserwaage, Schlauchwaage, auf S. 10 erwähnt.)

1. Bei dem eigentlichen **Nivellierinstrument** (Verbindung von Fernrohr mit Röhrenlibelle) wird der scheinbare Horizont charakterisiert durch eine Röhrenlibelle und fixiert durch die Visierachse eines Fernrohrs. Fernrohr und Libelle der Art verbunden, daß Visierachse der Mittelmarktangente parallel, so daß bei einspielender Libelle auf der Mittelmarke die Visierachse wagerecht steht. Die Verbindung von Libelle und Fernrohr miteinander und mit dem Untergestell ist an den ausgeführten Instrumenten mannigfach variiert, je nach dem Zwecke

Abb. 34.

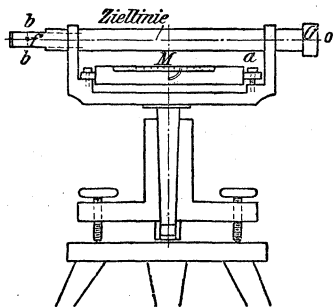
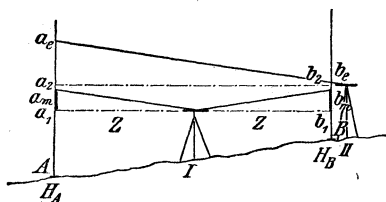


Abb. 35.



des Instrumentes bzw. dem bei der Verwendung zu erreichenden Genauigkeitsgrade. Einfachste (schematische) Darstellung in Abb. 34: Libelle und Fernrohr miteinander und mit dem Untergestell

fest verbunden, gestattet nur allgemeine Wagerechtstellung bzw. besondere Wagerechtstellung mittels der Stellschraube des Dreifußes.

Justierung eines einfachen Nivellierinstrumentes:

1. Mittelmarke *M* zum Spielpunkte des Systems in Bezug auf den senkrechten Zapfen machen, mittels der Libellenkorrektionschrauben *a* (nach den Angaben bei der Libelle auf S. 10 durchzuführen).

2. Visierachse *of* parallel der Mittelmarktangente mittels der Korrektionschrauben des Fadennetzes *b*.

Die Durchführung zu 2. geht davon aus, daß der Höhenunterschied zweier im Gelände festgelegter Punkte mittels des justierten Instrumentes gleich groß gefunden werden muß, für verschiedene Instrumentenaufstellungspunkte. Zwei Punkte A und B (Abb. 35) im Abstände 50 bis 100 m im Gelände festgelegt. Bei Instrumentenaufstellung I in der Mitte von AB bzw. in gleichen Zielweiten Z (durch Abschreiten) seien die Ablesungen an der Latte (bei einspielender Libelle) a_m, b_m . Bei Instrumentenaufstellung II nahe einem Endpunkte (hier bei B) seien die Ablesungen a_e, b_e . Für das justierte Instrument liegen $a_1 b_1$ bzw. $a_2 b_2$ in demselben scheinbaren Horizonte, so daß sein muß

$$\left. \begin{aligned} H_A + A a_1 &= H_B + B b_1 \\ H_A + A a_2 &= H_B + B b_2 \end{aligned} \right\} \text{ oder } H_B - H_A = A a_1 - B b_1 = A a_2 - B b_2.$$

Mithin, wenn $a_m - b_m = a_e - b_e$ erfüllt, ist das Instrument justiert, andernfalls ist das Instrument zu justieren; dann ist aber $a_m - b_m$ frei vom Instrumentenfehler, ebenso b_e (indem das Objektiv dicht an der Latte), und muß $a_e = a_m - b_m + b_e$ durch senkrechtes Verstellen des Fadennetzes erhalten werden.

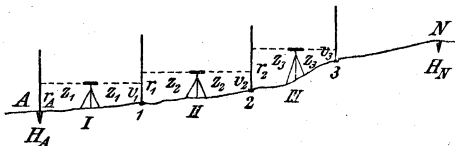
Wenn an einem Instrumente alle Teile lösbar, also Libelle gegen Fernrohr sich umsetzen, ferner das Fernrohr in seinen Lagern sich umlegen läßt, dann kann die Justierung von einem Standpunkte aus durchgeführt werden. Wenn jede Lattenablesung bei einspielender Libelle erfolgen soll, so kann das Einspielen bewirkt werden mittels der in Richtung der Ziellinie gelegenen Dreifufsschraube oder bei feineren Instrumenten mittels der Elevationsschraube.

2. **Nivellierlatten** (Schiebelatten nur für Wasserwege usw.). Für Nivellierinstrumente kommen nur Skalenlatten von 3, 4 bis 5 m Länge in Betracht, aus einem Stück oder zum Einschieben oder Zusammenklappen eingerichtet, mit übersichtlich angeordneter Felderteilung (in cm); Teilung auf einer Seite oder geeigneter in Form der **Wendelatte**, die Teilung der Rückseite um ein konstantes Stück gegen diejenige der Vorderseite verschoben. Eine justierbar befestigte Dosenlibelle gestattet sichere Senkrechtheitsstellung der Latte.

Vor Beginn jeder Arbeit ist die Justierung des Nivellierinstrumentes und der Nivellierlatte auszuführen.

3. **Nivelliermethoden.** Nivellieren aus den Endpunkten und Nivellieren aus der Mitte. Beim Nivellieren aus den Endpunkten können die verbleibenden Instrumentalfehler sowie der Einfluß von Erdkrümmung und Strahlenbrechung nur dadurch unschädlich gemacht werden, daß zwischen denselben Wechsellpunkten der Höhenunterschied doppelt, nämlich aus beiden Endpunkten bestimmt wird; mithin nur anwenden, wenn die Verhältnisse es bedingen; für genauere Nivellements ist die Methode aus der Mitte vorgeschrieben. Bei Nivellement aus der Mitte (Abb. 36)

Abb. 36.



werden die erforderlichen Wechsellpunkte 1 2 3 durch eine festgetretene eiserne Unterlegplatte (oder auf andere Weise) hergestellt derart, daß für jede einzelne Instrumentenaufstellung I II III . . . die Zielweiten im Rückblick und Vorblick (nach Abschreiten ausreichend) einander gleich sind, dann ist die Höhe irgend eines Punktes N

$$H_N = H_A + r_A - v_1 + r_1 - v_2 + \dots = H_A + \Sigma r - \Sigma v$$

frei von den Fehlern des Instrumentes und dem Einfluß von Erdkrümmung und Strahlenbrechung. Läuft ein Nivellement in einer Schleife in sich zurück, also $N=A$, so ist $\Sigma r - \Sigma v = d$ der Schlußfehler.

4. Nivellierungsarbeiten. Nivellements für technische Zwecke oder Präzisionsnivellements.

Für **technische Zwecke.** Fixpunktnivellements, Aufnahmen von Längen- und Querprofilen, Flächennivellements.

Fixpunktnivellements. Von einem Punkte A aus, dessen Höhe H_A gegeben, ist die Höhe eines Punktes N : H_N abzuleiten (Ausführung wie oben) Aus Vorsicht und zur Beurteilung der Genauigkeit werden längs des Weges eine Reihe von natürlich gegebenen oder künstlich hergestellten Festpunkten mit einnivelliert. Das Nivellement selbst ist doppelt zu führen.

Aufnahme eines Längenprofils. Längs einer festgelegten Spur oder Trace (geradliniger Polygonzug oder kontinuierlicher Linienzug aus Geraden und tangential sich anschließenden Kurven) Senkrechthflächen (Senkrechtebenen) gelegt, schneiden die physische Erdoberfläche in der **Geländelinie**, dieselbe punktweise nach Entfernung und Höhe aufgenommen und (rektifiziert) zeichnerisch wiedergegeben, zeitigt ein Längenprofil oder Nivellementsplan. Außer den charakteristischen Punkten: Wegpunkte, Uferpunkte, Geländebruchpunkte usw., sind in Abständen von 50 zu 50 m wagerecht gemessene Punkte der Höhe nach zu bestimmen, wodurch die ganze Linie stationiert wird. Die Ausführung erfolgt zweckmäßig in folgender Weise: man führt längs der Spur zunächst ein Fixpunktnivellement und sodann das eigentliche Längennivellement, in welchem die Fixpunkte wieder mitgenommen werden, wodurch die Höhen der einzelnen Fixpunkte doppelt erhalten werden. Die Abweichungen in den Doppelwerten zeigen einmal, an welcher Stelle grobe Meßfehler vorgekommen (durch Revisionsnivellements beseitigt), und dienen sodann zur schärferen Beurteilung des Genauigkeitsgrades. Das Beobachtungsmaterial wird in ein vorgeschriebenes oder passend gewähltes Schema eingetragen und in demselben reduziert. Auf Grund des endgültigen (ausgeglichenen) Materials wird das Profil gezeichnet im vorgeschriebenen verjüngten Maßstabe, z. B. 1:2500 für die Längen und 1:250 für die Höhen.

Querprofile. Kurze Profile senkrecht zum Längenprofil gelegt, welche über das Seitengelände Aufschluß geben sollen. Die Achsialpunkte werden entweder beim Längennivellement direkt mit festgelegt oder werden an den nächstgelegenen Festpunkt angeschlossen. Die Anzahl der Querprofile hängt ab von der Geländebeschaffenheit und dem Zweck. Die Aufnahme erfolgt mit Meßband und Nivellierinstrument. Das Beobachtungsmaterial wird in einem Schema oder in

Handskizzen niedergelegt; letztere gezeichnet, wie gesehen, wenn in der Richtung des Längenprofils fortgeschritten. Bei steilerem Gelände erfolgt die Aufnahme mittels Staffelapparates. Die Querprofile werden in der Regel im Höhenmaßsstabe des Längenprofils gezeichnet.

Flächennivellement. Darstellung der Höhengestaltung eines Geländeabschnitts durch Ermitteln und Einzeichnen äquidistanter Horizontalkurven. (Allgemein durch Tachymeteraufnahme, sonst durch Zerlegen in Horizontalaufnahme und Höhengaufnahme.) Hat das Gelände die Form eines langgestreckten schmalen Streifens: durch Längen- und Querprofilaufnahme. Liegt ein Lageplan vor, durch Ergänzung der Höhengaufnahme mittels Nivellierinstrumente. Gelände mehr gleichmäßig verlaufen, durch Ueberspannen desselben mit einem quadratischen Maschennetz von 10 bis 20 m Maschenlänge, wo dann die Höhen der Maschenpunkte mittels Nivellierinstrumente ermittelt werden. Bei Gelände mehr in Kegelform durch Anordnen von Querprofilen durch denselben Gipfelpunkt in Richtung des stärksten bzw. schwächsten Gefälles gelegt. Die einzelnen Profile werden durch Horizontalwinkelmessung gegenseitig festgelegt.

Präzisionsnivellements haben einmal den Zweck, ein System gut bestimmter Höhenfixpunkte, über ein großes Areal (Land) möglichst gleichmäßig verteilt, als Grundlage für anzuschließende Nivellements für praktische Zwecke zu schaffen, sodann einen speziell wissenschaftlichen Zweck: Ermittlung minimaler Bewegung der Erdkruste, Heben und Senken der Küste usw. Sie unterscheiden sich von einem Fixpunktnivellement nur durch einen höheren Genauigkeitsgrad. Instrumente entsprechend leistungsfähiger; Methode nur aus der Mitte; Ablesung bei nahe einspielender Libelle nur am Mittelfaden oder an drei äquidistanten Fäden, wo der Libellenausschlag ermittelt und rechnerisch berücksichtigt werden muß. Die Königl. preußische Landesaufnahme stellt längs der Landstraßen ein System von Höhenfixpunkten in Abständen von rund 2 km zur Verfügung, an welche Punkte die Nivellements für praktische Zwecke angebunden werden müssen.

Genauigkeitsmaße geometrischer Nivellements. Wird der mittlere Fehler für 1 km des einfachen Nivellements mit m in Millimetern bezeichnet, so darf der mittlere Fehler einer Strecke von L km in Millimetern betragen: $M = \pm m \sqrt{L}$.

m abhängig von der Leistungsfähigkeit des Nivellierapparates und des Beobachters. Der einzuhaltende Wert m ist seitens der maßgebenden Behörden vorgeschrieben. Bei Nivellements für technische Zwecke darf betragen:

$m \leq 27$	mm	nach dem	Landmesser-Reglement
$m \leq 20$	„	„	den Vorschriften der Eisenbahnverwaltungen
$m \leq 25$	„	„	„ Vorschriften für Markscheider.

Nach der preußischen Vermessungsanweisung ist

$$M \leq \pm 9 \text{ mm} \sqrt{\frac{L}{100}}, \text{ wo } L \text{ in Metern einzuführen.}$$

Für Fein- oder Präzisionsnivellements sind die zulässigen Fehlergrenzen weit enger gesteckt, indem m auf ± 1 mm und darunter herabgedrückt wird.

Ausgleichung geometrischer Nivellements für praktische Zwecke.

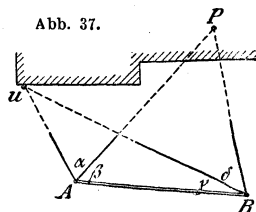
Wenn im vorliegenden Falle $M \ll m\sqrt{L}$ sich ergibt, wird M auf die Zwischenpunkte proportional der Entfernung verteilt. Ist dann hinsichtlich der Fixpunkte das Nivellement doppelt geführt, so wird jedes Nivellement für sich ausgeglichen, und weichen die Höhenzahlen desselben Fixpunktes aus beiden Nivellements nur wenig voneinander ab, so ist das Mittel aus beiden die endgültige Höhe des Fixpunktes. Die Punkte des eigentlichen Längennivellements werden dann von Fixpunkt zu Fixpunkt zwischengespannt, indem die Abweichungen proportional der Entfernung verteilt werden. Für die somit erhaltenen endgültigen oder ausgeglichenen Höhenzahlen wird das Längenprofil gezeichnet.

b. Trigonometrische Höhenmessung bestimmt den Höhenunterschied aus horizontaler Entfernung und Höhenwinkel bzw. Zenitdistanz. Auf kurze Entfernung nach der Formel $\Delta H = D \operatorname{tg} \alpha = D \cotg z$, wobei Erdkrümmung und Strahlenbrechung vernachlässigt werden.

Der hierdurch begangene Fehler ist $\Delta h = \frac{D^2}{2r} (1 - k)$ oder rund $\frac{7}{8} \frac{D^2}{2r}$, wo r rund 6370 km zu setzen; wenn α bzw. z um $d\alpha = \pm 10''$ unsicher, wird der Höhenunterschied unsicher um $dh = \pm \frac{D}{\cos^2 \alpha} d\alpha$. Die Werte für Δh und dh in Millimetern für verschiedene Werte von D und α sind in folgender Tafel zusammengestellt.

$D =$	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	1000 m	2000 m
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1.	$\Delta h = \frac{D^2}{2r} (1 - k); \quad k = 0,13; \quad r = 6370 \text{ km.}$						
Δh	0,69	2,75	6,18	11,00	17,17	68,69	274,7
2.	$dh = \frac{D}{\cos^2 \alpha} d\alpha; \quad \text{für } d\alpha = \pm 10''.$						
α							
1^0	4,85	9,70	14,53	19,39	24,25	48,50	97,00
2^0	4,85	9,71	14,56	19,42	24,27	48,54	97,08
4^0	4,87	9,74	14,62	19,49	24,36	48,72	97,44
6^0	4,90	9,80	14,71	19,61	24,51	49,02	98,04
8^0	4,94	9,89	14,83	19,78	24,72	49,44	98,88
10^0	4,99	9,98	14,98	19,97	24,96	49,92	99,84

Wenn die Entfernung nicht bekannt, der Höhenwinkel nicht unmittelbar gemessen werden kann, erfolgt die Bestimmung des Höhenunterschiedes von einer Standlinie aus, z. B. (Abb. 37) u ein Punkt unten am Fundament, P ein Punkt auf dem Dache, gesucht H_u^P . Standlinie AB gemessen; in A und B Horizontalwinkelmessungen aus-



geführt, liefert die Winkel $\alpha, \beta, \gamma, \delta$, wodurch in Verbindung mit AB rechnerisch die Entfernungen Au, AP, Bu, BP erhalten werden; mißt man sodann in A und B die Zenitdistanzen nach u und P , so kann man die Einzellhöhenunterschiede berechnen und daraus finden

$$H_u^P = H_u^A + H_A^P = H_u^B + H_B^P.$$

Auf beliebige Entfernungen unter Berücksichtigung von Erdkrümmung und Strahlenbrechung. Einfachste Annahme (für praktische Zwecke ausreichend): Weg des Lichtstrahls in jedem Zeitpunkte ein Kreisbogen; Halbmesser des Kreisbogens für verschiedene Zeitpunkte verschieden, abhängig von Druck und Temperatur; gemessene Zenitdistanz ist dann der Winkel der Tangente an den Kreisbogen (als Lichtkurve) gegen die Lotlinie.

Am genauesten für gleichzeitig gegenseitig gemessene Zenitdistanzen Z_A und Z_B (Abb. 38); dann ist

$$H_A^B = D \operatorname{tg} \frac{Z_B - Z_A}{2} + \frac{H_B^2 - H_A^2}{2r}$$

(das letzte Glied erreicht bei $H_A = 700$ m und $H_A^B = 100$ m erst 12 mm).

Für einseitig gemessene Zenitdistanzen (in der Praxis die Regel), z. B. gemessen Z_A , ist

$$H_A^B = D \cotg Z_A + \frac{D^2}{2r} (1 - k) + \frac{H_B^2 - H_A^2}{2r},$$

wo k als Refraktionskoeffizient im Mittel 0,13 und r rund 6370 km. (Der tatsächliche Wert k kann von dem Mittelwert um $1/5$ bis $1/4$ des vollen Betrages verschieden sein.)

Das Glied $\frac{D^2}{2r} (1 - k)$ als Horizontkorrektur, den Einfluß von Erdkrümmung und Strahlenbrechung darstellend, gibt den Höhenunterschied für $Z = 90^\circ$ oder zweier Punkte, in demselben scheinbaren Horizonte gelegen (geometrisches Nivellement).

c. Barometrische Höhenmessung.

Wenn mit zunehmender Höhe der Luftdruck P abnimmt, so ist $\Delta H = \text{Funktion } \Delta P$. Wird in zwei Punkten derselben Lotlinie in demselben Zeitpunkt der Luftdruck gemessen, so läßt sich daraus der Höhenunterschied beider Punkte

Abb. 38.

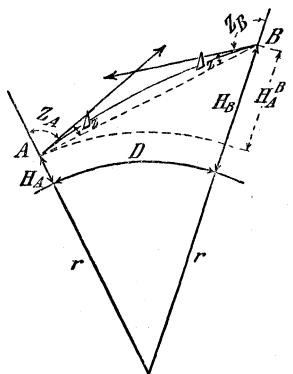
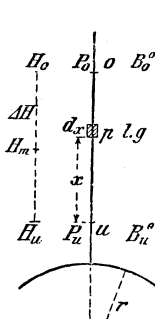


Abb. 39.



nach der barometrischen Höhenformel berechnen (Abb. 39). Aus der Grundgleichung $-dp = dx \cdot l \cdot g$, wo l die Dichtigkeit der Luft und g die Beschleunigung der Schwere an der betreffenden Stelle, wird unter Einführung der Konstanten die barometrische Höhenformel abgeleitet in der Form

$$\Delta H = 18404 \cdot \log \frac{P_u}{P_0} (1 + 0,003665 t) \left(1 + 0,377 \frac{\text{Dunstdr.}}{\text{Luftdr.}} \right) \quad 1.$$

$\left(1 + 0,002648 \cos 2 \varphi + 2 \frac{Hm}{r} \right)$, wenn der Luftdruck durch Federkraft gemessen; wird der Luftdruck mittels Quecksilberbarometers gemessen, so tritt an Stelle von 18404 der Faktor 18450, nämlich

$$\Delta H = 18450 \log \frac{B_u}{B_0} \quad (\text{dieselben Faktoren wie vorher}). \quad 2.$$

Es wird $t = \frac{t_u + t_0}{2}$ gesetzt, t_u und t_0 die Lufttemperaturen im unteren und oberen Punkte am sichersten mit Schleuderthermometern erhalten.

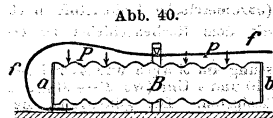
Dunstdruck mittels Psychrometers bestimmt; die geographische Breite (mittlere Breite beider Punkte)

$$H_m = H_u + \frac{1}{2} \Delta H; \quad r = \text{rund } 6370 \text{ km.}$$

Reduktion der Ablesungen am Quecksilberbarometer: abgelesen B bei der Temperatur t_q des Quecksilbers an einem Maßstabe, dessen Temperatur t_m , dann ist B_x entsprechend der Temperatur 0° des Quecksilbers und des Maßstabes bestimmt durch $B_x = B (1 - \alpha_q t_q + \alpha_m t_m \dots)$, wo α_q der Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers = 0,000180 und α_m der Ausdehnungskoeffizient des Maßstabes. Bringt man an B_x die Korrektur des Maßstabes sowie die Kapillardepression und beim Gefäßbarometer die Gefäßkorrektur an, so erhält man den Wert B^0 (für Gleichung 2). Bringt man an B^0 noch den Wert der Schwerekorrektur ΔS an, so ist $B^0 = B^0 + \Delta S = P$ ein einheitliches Maß für den Luftdruck; $\Delta S = -B^0 \left(0,002648 \cos 2 \varphi + 2 \frac{H}{r} \right)$. Der Wert B^0 würde für Gleichung 1 in Betracht kommen.

Für Ingenieurzwecke wird der Luftdruck gemessen mit **Metalbarometern** oder **Aneroiden**; dieselben sind stets nur als Interpolationsinstrumente aufzufassen, deren Angaben durch periodisches Vergleichen mit dem Quecksilberbarometer auf den Sollwert zu verbessern sind (Instrumentalkorrektionsformel).

Eine dosenförmige, durch biegsame Wandungen geschlossene Büchse B , Abb. 40 (nahezu luftleer gemacht, wird bei zunehmendem Luftdruck zusammengedrückt; eine Feder f wirkt dem Zusammendrücken entgegen; (f kann auch wie bei Goldschmid durch Versteifung der Wandungen bei a und b ersetzt werden). Für jeden Luftdruck P tritt zwischen B und f eine Gleichgewichtslage ein; die der Druckänderung ΔP entsprechende vibrierende Bewegung der Büchse B (an sich klein, indem 100 mm Druckänderung zu je 10- bis 12 m Höhenunterschied nur 0,5 mm Bewegung der Büchse entsprechen) wird, durch



Umsetzungsvorrichtungen stark vergrößert, auf die Bewegung eines Zeigers übertragen, welcher über einer angebrachten Skala streicht. In der Art der Umsetzung unterscheiden sich die verschiedenen Konstruktionen: Naudet, Goldschmid, Reitz-Deutschein, Weilenmann . . . Die Skala ist stets nur als Schablonenskala aufzufassen

Instrumentalkorrektion der Aneroide. Wird an einem Orte in demselben Zeitpunkt am Quecksilberbarometer B und am Aneroid A abgelesen, so ist der tatsächliche Luftdruck $= B^{00} = A + \Delta A$. Die Instrumentalkorrektion ΔA , dem betreffenden Instrument individuell angehörend, hat Rücksicht zu nehmen auf die Schablonenskala, den Einfluß der Temperatur auf das Instrument, evtl. die Aenderungen der Einflüsse mit der Zeit und kann nur durch Vergleichung mit dem Quecksilberbarometer bestimmt werden. In der einfachsten Form lautet dieselbe $\Delta A = a_0 + b t$, wo a_0 die Standkorrektion und b der Temperaturkoeffizient; a_0 ist leichter veränderlich infolge von Erschütterungen des Instrumentes; b ist mehr konstant und kann bis 0,2 für 1° betragen; bei kompensierten Instrumenten ist b auf einige Hundertstel herabgedrückt.

Die barometrische Höhenmessung gibt die Höhenunterschiede, also auch die Höhen nur auf 1 bis 2 m genau, kommt demnach nur bei allgemeinen Vorarbeiten zur Verwendung. Für diesen Fall der Praxis sind die Formeln 1 und 2 zu unhandlich; durch Einführen von Mittelwerten für q , Dünstdruck und H_m wird die Formel handlicher, ohne den praktisch erreichbaren Genauigkeitsgrad überhaupt zu beeinflussen.

Mittelwerte für Deutschland: $q = 50^0$; $H_m = 700$ m; mittlerer Dünstdruck 7,2 mm und mittlerer Luftdruck 700 mm; hierfür geht unsere Formel 1 über in

$$\Delta H = 18\,471 \log \frac{P_u}{P_0} (1 + 0,003665 t) \quad (3)$$

(Der Fehler gegen 1 beträgt im ungünstigsten Falle noch nicht $\frac{1}{2}$ vH in ΔH .) Ersetzt man \log durch die \log -Reihe, von welcher man ausreichend nur das erste Glied beibehält, so entsteht

$$\Delta H = 16\,044 \frac{P_u - P_0}{P_u + P_0} (1 + 0,003665 t) \quad (4)$$

$$\text{endlich } t = \frac{t_u + t_0}{2} = \frac{\Sigma t}{2} \text{ gesetzt,}$$

$$\Delta H = 29,40 (545,7 + \Sigma t) \frac{P_u - P_0}{P_u + P_0} \quad (5)$$

in welcher einfachen Form für allgemeine Vorarbeiten stets ausreichend.

Für die Formel 5 läßt sich leicht eine Zahlentafel aufstellen durch Zerlegen nach $\frac{29,40 \cdot 545,7}{P_u + P_0}$ und $\frac{29,40 \cdot \Sigma t}{P_u + P_0}$.

Z. B. liefert $P_u + P_0 = 1400$, $\Sigma t = 30$ den Wert $11,46 + 0,63 = 12,09$ m, entsprechend einer Druckänderung $P_u - P_0 = 1$ mm (barometrische Höhenstufe nach Hammer), wo dann $\Delta H = 12,09 \cdot (P_u - P_0)$ evtl. mit dem Rechenschieber zu ermitteln ist.

Erfahrungsmäßig gibt die barometrische Höhenmessung am Morgen und Abend den Wert zu klein, zwischen 10 und 4 Uhr zu groß, gegen 10 und 4 Uhr (wo diese Stunden mit der Jahreszeit variieren) den Wert am zuverlässigsten. Die günstigsten Beobachtungszeiten sind

	Mai bis Juli	April August	März September	Februar Oktober
vormittags	6—8	8	9	10
nachmittags	7—9	6—7	5	4

Methoden der Aufnahme. 1. Staffelmethode. Zwei Aneroide, das zweite Instrument dem ersten immer um eine Station nach, werden zu derselben Zeit abgelesen.

Im Ausgangspunkte P werden beide Instrumente gleichzeitig abgelesen, wodurch $(A_I + \Delta A_I) - (A_{II} + \Delta A_{II}) = \Delta p$ gefunden; nach Erledigung des Arbeitsabschnittes treffen beide Instrumente in demselben Punkte Q zusammen; gleichzeitige Ablesungen liefern $(A_I + \Delta A_I)^x - (A_{II} + \Delta A_{II})^x = \Delta q$; für $\Delta q = \Delta p$ würde auch wohl in der Zwischenzeit alles in Ordnung gewesen sein; wenn aber $\Delta q - \Delta p$ größer als zulässig, infolge Aenderung von a_0 an einem oder an beiden Instrumenten, muß die Arbeit evtl. wiederholt werden. Ausser diesem Mangel tritt bei dieser Methode eine sehr ungünstige Fehlerfortpflanzung ein, indem die Unsicherheit in der Höhe eines Punktes mit der Entfernung desselben vom Ausgangspunkte wächst. Günstiger wirkt die 2. Aufnahmемethode, nach welcher das eine Instrument als **Stand-** und das andere als **Feldinstrument** dient, mit letzterem sind alle einzeln zu bestimmenden Punkte zu begehen. Nachdem im Ausgangspunkt P der Wert Δp bestimmt und der gemeinsame Treffpunkt Q vereinbart ist, verbleibt das eine Instrument als Standinstrument in P und werden an demselben kontinuierliche Ablesungen (vielleicht von 10 zu 10 Minuten) gemacht; mit dem anderen Instrument als Feldinstrument werden die aufzunehmenden Punkte begangen und die Ablesungen unter Angabe der Zeit gemacht; hierbei werden eine Reihe günstig gelegener, vorher vereinbarter Punkte $a, b, c, d \dots$ mitbegangen. Ist mittlerweile das Instrument nach Q gekommen, übernimmt es in Q die Funktionen des Standinstrumentes. Das Instrument von P begibt sich nach P nur in den Punkten $a, b, c, d \dots$, die Ablesungen ausführend. In Q wird Δq ermittelt. Aus den doppelt erhaltenen Höhen der Versicherungspunkte a, b, c, d ist leicht zu ermitteln, an welcher Stelle ein evtl. auftretender Fehler begangen. Das Standinstrument kann auch ersetzt werden durch einen leistungsfähigen Barographen oder durch ein gleichmaschiges Netz von Höhenfixpunkten, durch Nivellement vorher ermittelt, wodurch die mit dem Feldinstrument erhaltenen Höhenunterschiede kontrolliert werden.

J. Tachymeteraufnahme.

a) Distanzmesser. Alle Distanzmesserkonstruktionen beruhen auf demselben Grundgedanken: Festlegung eines spitzwinkligen Dreiecks, in welchem eine (kurze) Seite als Basis festgelegt und aus welcher die gesuchte Entfernung als andere (große) Seite des Dreiecks abgeleitet wird. Vom Kleinen aufs Große geschlossen, muß die gesuchte Entfernung viel ungenauer werden als bei unmittelbarer Messung und der Triangulation.

(Distanzmesser mit geringem Genauigkeitsgrade sind unter anderen Bauernfeinds distanzmessendes Prisma, Theodolit mit exzentrischem Fernrohr, Spiegelsextant, Distanzmesser auf Ähnlichkeitssätzen beruhend, Bildweitendistanzmesser usw.)

Für Ingenieurzwecke kommen in Betracht:

1. Okularfadendistanzmesser. In der Diaphragmaebene des Fernrohrs Abb. 41 sind außer dem Horizontalfaden noch zwei dazu äquidistante

parallele Seitenfäden angeordnet, so daß der Abstand p der distanzmessenden Seitenfäden die unvermeidliche kleine Basis festlegt. Wird in einem Endpunkt der Strecke das Instrument mit Fernrohr für horizontale Mittelfadenvisur auf die am anderen Endpunkt senkrecht gehaltene Latte (Nivellierlatte) gerichtet, so ist das im Bilde zwischen

Abb. 41.

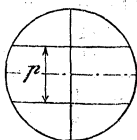
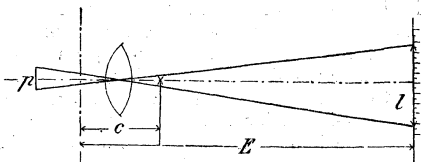


Abb. 42.



den distanzmessenden Seitenfäden abgelesene Lattenstück l , Abb. 42, ein Maß für die Entfernung beider Punkte. Es ist die wagerechte Entfernung vom senkrechten Zapfen des Instrumentes bis Lattenaufstellungspunkt:

1. für ein Fernrohr mit Ramsdens Okular: $E = c + kl$; wo c der Abstand des vorderen Brennpunktes des Objektivs vom Vertikalzapfen; für die Objektivbrennweite F ist $k = \frac{F}{p}$;

2. für ein Fernrohr mit Huygens Okular: $E = c + k'l$, wo $k' = \frac{F}{p} \cdot \left(1 - \frac{y}{f}\right)$, f die Brennweite der Kollektivlinse des Okulars und y der Abstand des Fadennetzes von der Kollektivlinse;

3. für ein Fernrohr mit Porros Modifikation, bei welchem durch Einschieben einer Linse c auf 0 reduziert wird:

$$E = k^x l, \text{ wo } k^x = \frac{Ff}{F - a + f} \cdot \frac{1}{p} = \frac{F''}{p};$$

f die Brennweite der eingeschobenen Linse und a deren Abstand vom Objektiv. Mithin ganz allgemein $E = c + kl$. Es sind c und k die Konstanten des Distanzmessers. k durch Anpassen der Konstruktion auf einen runden Wert 100, 200 . . . gebracht, erleichtert wesentlich die Auswertung von kl .

Bestimmung der Konstanten c und k : Einzelnen, besser summarisch nach einem Verfahren ganz ähnlich demjenigen der Anwendung des Distanzmessers. In möglichst ebenem, wagerechtem Gelände werden vom Instrumentenaufstellungspunkte aus die Entfernungen $E_1, E_2 \dots E_n$ scharf abgemessen und bei nahezu wagerechter Mittelfadenvisur an der in den einzelnen Punkten senkrecht gehaltenen Latte die entsprechenden Ablesungen $l_1, l_2, l_n \dots$ gemacht, dann müßte sein

$$\left. \begin{array}{l} E_1 = c + kl_1 \\ E_2 = c + kl_2 \\ \vdots \\ E_n = c + kl_n \end{array} \right\} \begin{array}{l} 2 \text{ Gleichungen reichten zur Bestimmung von } c \text{ und } k \\ \text{aus, bei } n > 2 \text{ werden } c \text{ und } k \text{ nach der Methode} \\ \text{der kleinsten Quadrate abgeleitet, wodurch nicht nur} \\ c \text{ und } k \text{ selbst, sondern auch die mittleren Fehler} \\ \text{dieser Größen erhalten werden.} \end{array}$$

Distanzmessung mit geneigter Mittelfadenvisur. An der im Punkte n senkrecht gehaltenen Latte schneiden die Seitenfäden zwischen u und o das Stück l ab; am Höhenkreise des Instrumentes wird α bzw. z abgelesen (Abb. 43). Dann ist $E' = c + kl'$ und $E = E' \cos \alpha = E' \sin z$. Für die Annahme $l' = l \cos \alpha$ (Fehler in E nur mm) wird

$$E = c \cos \alpha + kl \cos^2 \alpha = c \sin z + kl \sin^2 z. \quad 1)$$

(Bei einer Anordnung nach Porro fällt $c \cos \alpha$ bzw. $c \sin z$ fort.) Der Höhenunterschied: Fernrohrdrehachse bis Lattenfußpunkt n ist

$$\Delta h = c \sin \alpha + \frac{kl}{2} \sin 2\alpha - \frac{0+u}{2} = c \cos z + \frac{kl}{2} \sin 2z - \frac{0+u}{2}. \quad 2)$$

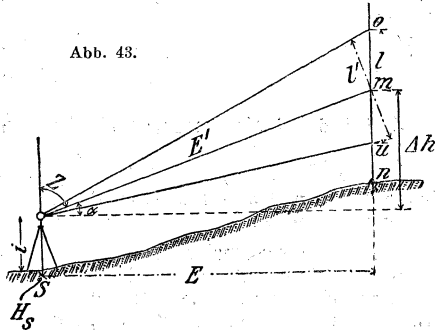
Ist ferner i die Instrumentenhöhe und sind H_s und H_n die Höhen der Punkte über derselben Ausgangsfläche, also auch über N.N., so ist

$$H_n = H_s + i + \Delta h. \quad 3)$$

Die Latte freihändig gehalten, hat stets eine Neigung δ ; dieser Schiefstellung entspricht ein Fehler in E von der Größe $E \tan \alpha \delta$; am günstigsten, wenn δ für die Ablesungen bei u und o gleich, was der Fall, wenn die Ablesungen in demselben Augenblick gemacht werden: der untere Faden auf eine Zahl der Lattenteilung eingestellt, mit der Mikrometerschraube des Höhenkreises auf dieser Einstellung erhalten und in demselben Augenblick der obere Faden abgelesen.

Der Genauigkeitsgrad kann auf Grund der praktischen Erfahrung auf $\frac{1}{400}$ der Entfernung veranschlagt werden für $k=100$ und α bis 10° . Bei steileren Visuren geringer.

Abb. 43.



Rechnerische Auswertung der Produkte in 1. und 2. Wenn $c \cos \alpha$, $c \sin \alpha$ bzw. $c \sin z$, $c \cos z$ beibehalten werden müssen, ermittelt man diese Werte am einfachsten aus Hilfstabellen.

Die Auswertung der Glieder $kl \cos^2 \alpha$, $\frac{kl}{2} \sin 2\alpha$ usw. erfolgt logarithmisch oder mit Rechenschiebern (für diesen Zweck besonders eingerichtet), Rechenmaschinen in Verbindung mit eigens entworfenen Tabellen, unter Benutzung berechneter Hilfstafeln (Jordan-Hilfstafeln für Tachymetrie), unter Benutzung entworfenen Strahlendiagramme . . . (Der Okularfadendistanzmesser findet ausgedehnteste Verwendung bei Tachymeternaufnahmen).

2. Distanzmessung durch Triangulation in der Vertikalebene. Theodolit mit Höhenkreis in A (Abb. 44) und Skalenlatte in B senkrecht aufgestellt; gemessen werden Zenitdistanzen z_u nach u und z_0

2. Gemeinsam mit der Tachymeternaufnahme: indem die Standorte durch Tachymeterzüge festgelegt werden; es sind dies Theodolitpolygonzüge, bei denen die Strecken mittels Distanzmessers gemessen werden, dann aber jede Strecke doppelt durch Vor- und Rückbestimmung bzw. Wiederholung der Bestimmung. (In diesem Falle leistet eine dem Theodoliten zugefügte Bussole wesentliche Dienste, um groben Messungsfehlern vorzubeugen.)

Zwischen diesen beiden äußersten Fällen der Anwendung sind mannigfache Variationen möglich.

Eigentliche Tachymeternaufnahme. Aufzunehmen sind alle Punkte, maßgebend 1. für die Situation und 2. für die Höhengestaltung des Geländes. Bei mehr gleichmäßig verlaufendem Gelände werden diese Punkte nach Profilen in der Richtung des stärksten bzw. schwächsten Gefalles angeordnet. (Verpflocken unnötig.)

Von dem von einem Standorte P aus aufzunehmenden Geländeabschnitt wird als übersichtliches Bild der Handriß angefertigt, enthaltend die Situation, die anschraffierten Böschungskanten und die Leitlinien der Horizontalkurven (nach Augenschein).

Inzwischen ist im Standorte P das Instrument zentrisch aufgestellt und einnivelliert; es wird die Instrumentenhöhe gemessen, der Zenitpunkt bzw. der Horizontpunkt am Höhenkreise ermittelt, die Orientierung des Horizontalkreises durch Beobachten eines benachbarten Standortes Q erledigt bzw. die Bussolenablesung gemacht. Auf den Zuruf „fertig“, ist die Latte nach Anweisung des Handrißführers in einem Punkt 1 aufgehalten, dessen Lage im Handriß vermerkt wird; unter gleicher Nummer wird der Punkt im Beobachtungsheft vermerkt und am Instrument die Ablesungen nach der Latte, am Horizontal- und Höhenkreise gemacht und eingetragen; währenddessen ist die Latte in einem Punkte 2 aufgestellt usw. Durch Zuruf ist die Identität der Numerierung im Handriß und Beobachtungsbuch zu kontrollieren. Nach Erledigung der Station werden am Instrument die Messungen von Instrumentenhöhe, Orientierung und Bestimmung von Zenit- bzw. Horizontpunkt wiederholt.

Auf Grund des Beobachtungsmaterials werden für jeden Tachymeterpunkt nach den Formeln 1) 2) 3) Seite 37 E , Δh und H_p berechnet.

Auftragen des Planes. In dem im Plane gezeichneten Transversalmassstabe wird das quadratische Maschennetz entworfen (Seitenlänge rund 0,1 m) und die Standpunkte nach ihren rechtwinkligen Koordinaten eingetragen. (Kontrolle: Entfernungen gemessen und mit den Werten der Rechnung verglichen.) Das Eintragen der Tachymeterpunkte erfolgt mittels Vollkreistransporteurs; unter Beachtung der Handrisse wird die Situation und nach den Höhengoten durch Interpolation zwischen benachbarten Punkten der Verlauf der Horizontalkurven entwickelt.

Diese sind in Sepia auszuziehen, und um die Uebersicht zu erleichtern, werden die Kurven der runden 10 m stärker ausgezogen. Bezüglich des Kolorierens gelten die „Bestimmungen über Anwendung gleichmäßiger Signaturen“. Die Orientierung des Blattes erfolgt durch Eintragen der astronomischen Nordrichtung.

Um die Rechenarbeit bezüglich der Tachymeterpunkte einzuschränken bzw. ganz zu umgehen, sind verschiedene Tachymeterkonstruktionen ausgeführt, so die Schiebentachymeter von Kreuter, Wagner-Fennel . . .; in neuer Zeit der Puller-Breithaupt'sche Schnellmesser und namentlich die Konstruktion Hammer-Fennel. Direkt im Felde gezeichnet, wird der Plan erhalten durch Aufnahme mittels Meßtisches und Kippregel (Meßtischblätter der Kgl. preussischen Landesaufnahme). Die angeregten Aufnahmeverfahren, wonach Situation und Horizontalkurven lediglich durch Vorwärtseinschneiden erhalten werden, setzen offenes übersichtliches Gelände voraus. Das photographische Aufnahmeverfahren ist geeignet für Aufnahmen im Hochgebirge oder sonst schwer zugänglichem, offenem Gelände.

Uebertragung einer Trace ins Gelände und Kurvenabsteckung.

Die im Plane entwickelte Trace (gleichmäßig verlaufender Zug von Geraden und tangential anschließenden Kreisbogen, evtl. eingeschobenen Uebergangskurven) wird ins Gelände übertragen, indem zunächst der geradlinige Zug der Tangenten durch Uebertragen der Winkelpunkte festgelegt wird. Die Gerade, durch zwei Punkte festgelegt, ist auszuflichten, indem eine Reihe von Zwischenpunkten eingeschaltet werden, am sichersten mit dem Theodoliten mit Achsreiterlibelle, welcher die Vertikalebene scharf hält (Passageinstrument). Im offenen, ebenen Gelände wird (Abb. 45) ein Punkt nahe in die Linie eingewiesen, der

Abb. 45.

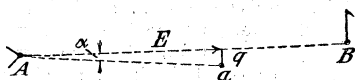
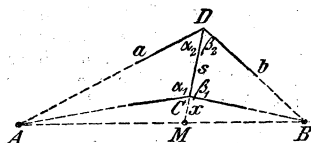


Abb. 46.



kleine Winkel α wird am Instrument gemessen, dann ist das Einrückungsstück $q = E \operatorname{tg} \alpha$ (E durch Abschreiten oder aus dem Plane abgegriffen reicht aus). (Soll eine Linie verlängert werden mit dem Theodoliten, dann Durchschlagen und Umlegen in den Lagern des Kollimationsfehlers wegen; sonst durch Horizontalwinkelmessung zur Ermittlung von q .) Liegt zwischen A und B ein Tal, dann Reiterlibelle ausnutzen und jeden Zwischenpunkt a in beiden Fernrohrlagen projizieren. Liegt zwischen A und B ein kahler Höhenrücken, dann auf demselben einen Punkt C in der Geraden AB ermitteln, in welchem A und B sichtbar ist, entweder versuchsweise durch allmähliches Einrücken, bis nach dem Durchschlagen und Umlegen das zweite Objekt einsteht; einfacher direkt in folgender Weise (Abb. 46): auf dem Rücken eine Standlinie CD so ausgewählt, daß S , $\alpha_1\beta_1$, $\alpha_2\beta_2$ gemessen liefert

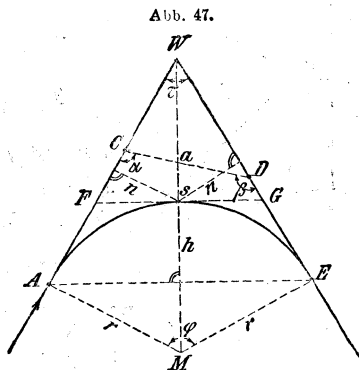
$$a = \frac{S \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad b = \frac{S \sin \beta_1}{\sin (\beta_1 + \beta_2)};$$

ferner $CM = x$ ist $a b \sin (\alpha_2 + \beta_2) = (S + x) \{a \sin \alpha_2 + b \sin \beta_2\}$; durch Absetzen von x in DC ist M gefunden. Ist zwischen A und B unübersichtliches Gelände (Wald), so wird zwischen AB ein Polygonzug oder Kleintriangulation angeordnet und darauf gestützt, Punkte in der Geraden rechnerisch ermittelt und abgesetzt.

Ausstecken von Kreisbogen. Tangentenrichtungen, im Gelände festgelegt, sind durch Kreisbogen von (nach dem Plane) gegebenen Halbmessern auszurunden. Dem punktweisen Abstecken der Kreisbogen geht die Festlegung der Hauptpunkte: Bogenanfangspunkt A , Bogenendpunkt E und Bogenseitelpunkt S (durch Scheiteltangente) voraus. Ist in Abb. 47 der Winkelpunkt W zugänglich, so wird τ direkt gemessen mit dem Theodoliten (auf 1' genau entspricht einem relativen Messungsfehler in den Längen der

Tangenten von $\frac{1}{2000}$); ist W un-

zugänglich, also durch C und D ersetzt, werden α, β und Strecke a gemessen, wodurch $\tau = \alpha + \beta - 180$ erhalten (wenn CD nicht direkt sichtbar, wird zwischen C und D ein Polygonzug angeordnet, durch dessen Bearbeitung α, β und a erhalten). Der Öffnungswinkel $\varphi = 180 - \tau$. Aus φ und r ist die Länge des Bogens $\widehat{AE} = r\varphi$ festgelegt.



Tangentenlänge $WA = WE = t = r \cotg \frac{\tau}{2}$ abgesetzt, wenn W zugänglich, sonst von C und D aus die berechneten Stücke CA und DE abgesetzt, liefern die Punkte A und E . Der Scheitelpunkt S wird erhalten durch Absetzen der Strecke $WS = r \left(\frac{1}{\sin \frac{\tau}{2}} - 1 \right)$ unter

dem Winkel $\frac{\tau}{2}$ gegen die Tangentenrichtung; besser und für jeden Fall durch Festlegen der Scheiteltangente FG , indem

$$AF = EG = FS = GS = r \tg \frac{\varphi}{4}.$$

Den Scheitelpunkt S festzulegen durch Absetzen der Pfeilhöhe $h = 2r \sin^2 \frac{\varphi}{2}$ im Halbierungspunkte der Sehne dient nur zur Kontrolle. (Zur Kontrolle von S kann auch dienen das Nachmessen der Normalen $n = h$.)

Die Entfernung von Punkten im Bogen wird gemessen in der Sehne, und bleibt der hierbei begangene Fehler

$$\frac{\text{Bogen} - \text{Sehne}}{\text{Bogen}} \leq \frac{1}{2000}, \text{ solange } b \leq \frac{r}{10}.$$

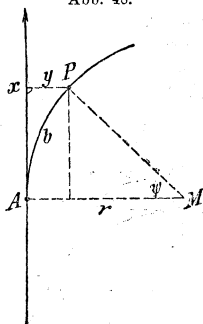
Punkte im Bogen werden abgesteckt

1. nach rechtwinkligen Koordinaten von der Tangente aus, wobei Tangentenrichtung die x -Achse und Hauptpunkt (z. B. A) Anfangs-

punkt. Ein Punkt P (Abb. 48) in der Entfernung b von A hat die Koordinaten x und y , so ist

$$\psi = \frac{b}{r}; \quad x = r \sin \psi; \quad y = 2r \sin^2 \frac{\psi}{2} = x \operatorname{tg} \frac{\psi}{2};$$

Abb. 48.



in Reihen entwickelt

$$x = b \left(1 - \frac{b^2}{6r^2} + \frac{b^4}{120r^4} \dots \right);$$

$$y = \frac{b^2}{2r} \left(1 - \frac{b^2}{12r^2} + \frac{b^4}{360r^4} \dots \right)$$

um x und y noch auf $\frac{1}{2000}$ genau zu erhalten, kann

$$x = b, \text{ solange } b \leq 0,055r;$$

$$y = \frac{b^2}{2r}, \text{ solange } b \leq 0,078r,$$

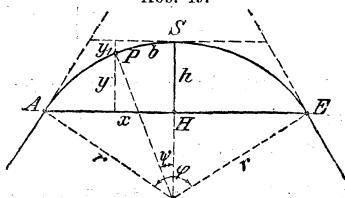
wenn b größer, wird

$$x = b \left(1 - \frac{b^2}{6r^2} \right) \text{ gesetzt, solange } b \leq 0,495r;$$

$$y = \frac{b^2}{2r} \left(1 - \frac{b^2}{12r^2} \right), \text{ solange } b \leq 0,65r.$$

Durch Vermehren der Hilfstangenten ist es stets zu erreichen, daß die Formeln $x = b$; $y = \frac{b^2}{2r}$ in der Praxis ausreichen.

Abb. 49.



2. Nach rechtwinkligen Koordinaten von der Sehne aus: hier ist AE Abszissenachse und H Ursprung. Ein Punkt P (Abb. 49) in der Entfernung b von S hat die Koordinaten x und y ; dann ist

$$h = 2r \sin^2 \frac{\varphi}{4}; \quad \psi = \frac{b}{r};$$

$$x = r \sin \psi; \quad y = h - 2r \sin^2 \frac{\psi}{2}$$

(sonst wie bei 1.); wird angewendet, solange die Ordinaten y kurz bleiben; kommt hauptsächlich kombiniert mit 1. in Anwendung. Sind

m und n zwei abgesteckte Bogenpunkte in der Entfernung b und soll ein Punkt c im Abstände x von m aus abgesteckt werden, so ist

$$\text{genähert } y = \frac{4hx}{b^2} = \frac{xx'}{2r}.$$

2a. Näherungsverfahren nach der Viertelmethode (Abb. 50). Hauptpunkte A , E , S liegen fest; dann ist die Pfeilhöhe $h = 2r \sin^2 \frac{\varphi}{4}$

bekannt. Verfahren: AS halbiert und im Halbierungspunkt H die Größe $w = \frac{h}{4}$ senkrecht abgesetzt, liefert einen Punkt nahe im Kreis-

bogen gelegen. Fehler $\Delta = 2r \sin^4 \frac{\varphi}{8}$; genähert $= 2r \left(\frac{h}{a}\right)^4$; wenn a die Sehnenlänge AE . Nach diesem Verfahren können Punkte im Bogen bequem eingeschaltet werden, sobald Punkte in gleichen Entfernungen b bereits abgesteckt.

3. Durch Einrücken von der Sekante aus: die beiden ersten Bogenpunkte 1 und 2 (Abb. 51) sind nach dem Verfahren 1. abgesteckt. Alle folgenden Punkte sollen im festen Abstände Bogen $1-2 = \text{Sehne } 1-2 = b$ abgesteckt werden. Es wird $1-2$ verlängert und $2-3' = b$

Abb. 50.

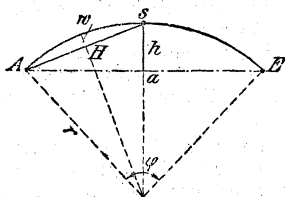
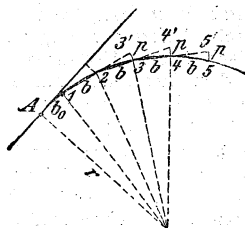


Abb. 51.



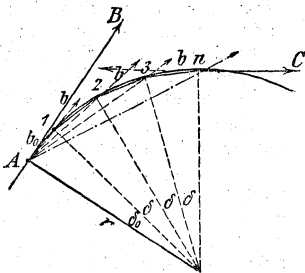
gemacht, $3'$ um $p = \frac{b^2}{r}$ herumgeschlagen, so daß $2-3 = b$ und ist 3 ein Bogenpunkt; $2-3$ verlängert und $3-4' = b$ gemacht, $4'$ um p herumgeschlagen, so daß $4'-4 = b$, so ist 4 Bogenpunkt usw.

Verfahren sehr einfach; zeigt aber eine sehr ungünstige Fehlerfortpflanzung. Vom Bogenanfang A und Bogenendpunkt E nach einem gemeinsamen Punkte in Nähe des Scheitels S abgesteckt, zeigt die Abweichung, und muß dieselbe durch Ausgleichung fortgeschafft werden.

4. Mittels Polarkoordinaten: der Hauptpunkt, in welchem der Theodolit aufgestellt wird (z. B. A), ist der Pol und die Tangentenrichtung die Achse des Systems; beruht auf dem Satze: Winkel zwischen Tangente und Sehne ist gleich dem halben zugehörigen Zentriwinkel (Abb. 52). Punkt 1 im Abstände b_0 ; die übrigen Punkte im konstanten Abstände $b = 20 \text{ m}, 25 \text{ m} \dots$; $\delta_0 = \frac{b_0}{r}$;

$\delta = \frac{b}{r}$. In A den Theodoliten zentrisch aufgestellt, Kreis orientiert, so daß für die Visur nach B am Nonius I: $0^\circ 00'$ abgelesen; darauf auf $\frac{\delta_0}{2}$

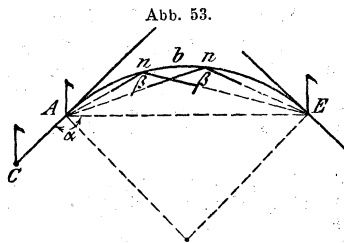
Abb. 52.



eingestellt und den Ziehstab bei gespanntem Mefsband in Sehnenlänge b_0 in die Visur gebracht, liefert den Bogenpunkt 1; am Kreise auf $\frac{d_0 + d}{2}$ eingestellt, hinteren Ziehstab in 1 festgehalten, vorderen Ziehstab in Sehnenlänge b in die Visur gebracht, liefert Bogenpunkt 2 usw. Bis zu einem Bogenpunkt n mit dem Winkel $\frac{d_0 + nd}{2}$, muß das Instrument eines Hindernisses wegen nach n umgestellt werden; dann wird in n die Richtung der Tangente an den Kreis festgelegt, indem man den Kreis orientiert auf $0^0 00'$ nach A , darauf Ablesung $\frac{d_0 + nd}{2}$ einstellt, durchschlägt und in den Lagern umlegt, so ist nC die Richtung der Tangente; nun auf $\frac{d_0 + (n+1)d}{2}$ eingestellt, hinteren Ziehstab in n festgehalten und den vorderen Ziehstab in die Visur gebracht, liefert den Bogenpunkt $(n+1)$ usw.

Nach diesem Verfahren kann der Bogen vom Instrument weg und nach dem Instrument hin abgesteckt werden; letzteres Verfahren verdient der Berücksichtigung der unvermeidlichen Beobachtungsfehler wegen den Vorzug.

5. Mittels Spiegel- und Prismeninstrumenten. Dieses Verfahren setzt mehr ebenes, offenes Gelände voraus, also beim Verlegen der Schienen mit Vorteil zu verwenden; beruht auf dem Satze, daß in allen Bogenpunkten n die Sehne AE unter demselben Peripheriewinkel β , gleich dem Winkel α zwischen Tangente und Sehne erscheint (Abb. 53).



Verfahren: im Punkt A aufgestellt, werden die Spiegel so verstellt, daß das doppelt reflektierte Bild des Fluchstabes in E mit dem Stabe in C sich deckt (dann ist der Ablenkungswinkel $= \alpha$); in dieser Stellung den Winkelspiegel starr erhalten, sind alle Punkte im Gelände, in denen das doppelt reflektierte Bild von E mit A sich deckt, bzw. umgekehrt, Punkte des Kreisbogens; sollen nur Punkte in der konstanten Sehnenlänge b abgesteckt werden, so wird der hintere Ziehstab in einem Bogenpunkt festgehalten und der vordere Ziehstab bei gespanntem Mefsbande als Lotstab des Winkelspiegels zum Aufsuchen eines Bogenpunktes verwendet.

Anstatt Winkelspiegels kann Dechers Prismentrommel unter Benutzung des beweglichen Bildes verwendet werden (Abb. 54 in halber Gröfse).

In einem zylinderförmigen Gehäuse ist das Prisma I gegen den Deckel fest gelagert; Prisma II ist mit einer Scheibe S fest verbunden, welche mittels Schraube σ gegen das Gehäuse verstellt wird, wodurch der Drehungswinkel beider Prismen A auf jeden erforderlichen Wert gebracht und erhalten werden kann. Sieht das Auge in F die Bilder

von A und E in Deckung, so ist der Winkel w in $D = 180 - 2\alpha$, unabhängig von ϵ und η . Im Punkt A aufgestellt und Prismen ver- stellt, bis die Bilder von C und E sich decken, ist $w = \alpha$ ge- macht. Der theoretische Fehler in der linearen GröÙe DM bleibt klein.

6. Mittels Transver- salen: theoretisch richtig nur für den Sonderfall $W \rightarrow A \rightarrow E$ ein gleich- seitiges Dreieck, deshalb nicht oder nur bei Ab- steckungen untergeord- neter Bedeutung anzu- wenden.

Bestimmung der Ele- mente eines abzu- steckenden Korbogens

(Abb. 55). Die Rich- tungen der Tangenten sind im Gelände festgelegt; r_a und r_b stehen nach dem Plan fest; Winkel τ muß ermittelt werden entweder durch direkte Messung, wenn W zugänglich, sonst nach dem Verfahren auf S. 41; dann ist $\tau = 180 - (\varphi_a + \varphi_b)$; einer der Zentriwinkel φ_a oder φ_b wird aus dem Plan entnommen, dann steht auch der andere fest. Nun sind A und E fest- zulegen, indem $WA = t_a$ und $WE = t_b$ berechnet werden; hierzu berücksichtigt man, daß die Summe der Projektionen des Fünfecks $WEM_b M_a A$ auf irgend eine Gerade gleich 0 sein muß. Praktisch bequem denkt man sich die Gerade WI winkelrecht zu WA und projiziert auf diese, so wird die Projektion von $t_a = 0$, und es entsteht

$$t_b = \frac{2 r_b \sin \frac{\varphi_b}{2} \cos \frac{\varphi_a - \tau}{2}}{\sin \tau} + \frac{2 r_a \sin^2 \frac{\varphi_a}{2}}{\sin \tau}, \quad 1)$$

so dann in bezug auf eine zweite Projektionsgerade WII winkelrecht zu WE , wird $t_b = 0$, und entsteht

$$t_a = \frac{2 r_a \sin \frac{\varphi_a}{2} \cos \frac{\varphi_b - \tau}{2}}{\sin \tau} + \frac{2 r_b \sin^2 \frac{\varphi_b}{2}}{\sin \tau}, \quad 2)$$

Abb. 54.

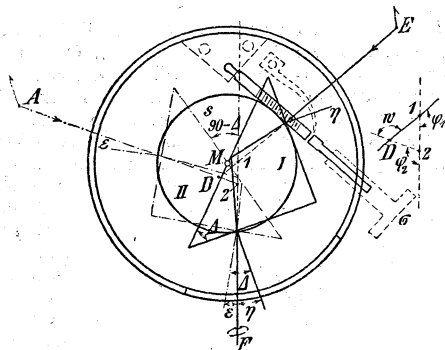
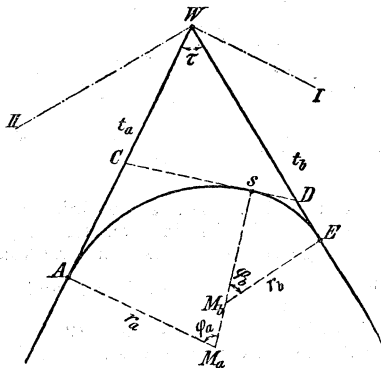


Abb. 55.



hier nur die Horizontalaufnahme der Projektion auf dieselbe Vermessungsfläche, Bessels Rotationsellipsoid, weiter zu verfolgen. Als Grundlage der Aufnahme ist ein möglichst gleichmaschiges System von Dreieckspunkten I. Ordnung zu Dreiecksketten oder Netzen gruppiert von durchschnittlich 50 km Seitenlänge angeordnet, gegen welche dann weitere Netze von Punkten II., III. und IV. Ordnung festgelegt, wodurch erreicht, daß auf eine Quadratmeile rund zehn gut bestimmte Punkte entfallen. Aufnahme und Bearbeitung des Netzes I. Ordnung: Durch Rekognoszierung sind die Punkte ausgewählt. Die Festlegung erfolgt unterirdisch durch Granitplatte mit Bolzen, auf welche ein zutage tretender Granitsockel so aufgesetzt wird, daß das in dessen Stirnfläche eingemeißelte Kreuz senkrecht über dem unterirdischen Festpunkte gelegen (Gelände wird staatlich erworben). Die Punkte sind zu Dreiecken verbunden mit mindestens einer Seite aneinanderschließend. Durch Horizontalwinkelmessungen wird die Form der Dreiecke und vermittels einer gemessenen Grundlinie oder Basis die Seitenlänge festgelegt. Durch Beobachtungspfeiler zu ebener Erde oder durch Signalbauten von entsprechender Höhe werden die Punkte für die Winkelmessung vorbereitet. Zur Sichtbarmachung der Punkte auf Entfernungen von 50 u. m. km wird fast ausschließlich das Heliotrop verwendet. (Das Bertramsche Heliotrop mit Spiegel von 8 bis 10 cm Seitenlänge reicht für direkt meßbare Dreiecke stets aus.) Die Winkelmessung erfolgt nach Winkeln oder Richtungen mittels leistungsfähiger Mikroskoptheodolite, rechnerisch bis auf einige Zehntel Bogen Sekunden sicher erhalten; ist der einzelne gemessene Winkel mit einem mittleren Fehler von $\pm m''$ behaftet, so darf der Dreieckschlußfehler $\Delta = + m'' \sqrt{3}$ betragen.

Das Beobachtungsmaterial wird einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate unterworfen. Jede überschüssig ausgeführte Messung liefert (infolge der den Beobachtungen anhaftenden unvermeidlichen Beobachtungsfehler) eine Netzbedingungsgleichung, und die ausgeglichenen Werte sind so zu bestimmen, daß von denselben als Ersatz der wahren Werte die Netzfigur im einzelnen und ganzen geometrisch möglich ist.

Anzahl der Bedingungsgleichungen ganz allgemein. Ist

M die Anzahl aller im Netz beobachteten Richtungen,

N „ „ aller Netzkpunkte,

F „ „ der Netzpunkte, in denen nicht beobachtet, welche
also von anderen Punkten nur angeschnitten,

q " " der gegenseitig beobachteten Richtungen,

der einseitig beobachteten Richtungen, wo $M=2q+r$,

dann ist $M - 3N + F + 4$ die Anzahl aller Netzbedingungsgleichungen, davon sind $q - N + F + 1$ Winkelgleichungen.

und $q + r = 2N + 3$ Seitengleichungen.

(Winkelgleichungen entstehen, wenn in einer geschlossenen Figur alle Winkel, also im Dreieck alle drei Winkel gemessen; demnach sprechen hier nur die q mit. Seiten-
gleichungen entstehen, wenn ein Punkt von mehr als zwei Punkten aus angemeßt,
dann müssen die Schnittstrahlen sich in demselben Punkte schneiden. Praktisch erfolgt
der Ansatz der Bedingungs-gleichung in der Weise, daß man die zur eindeutigen Be-
stimmung der Netzfigur erforderlichen Richtungen heranzieht und von dieser Netzfigur

auf die tatsächlich beobachtete Figur übergeht; für jede hierbei herangezogene beobachtete Richtung muß eine Bedingungsgleichung, Winkelgleichung oder Seitengleichung angesetzt werden. Die so praktisch ermittelte Anzahl muß gleich sein der theoretisch festgestellten Anzahl.)

In jedem einzelnen Dreieck muß die Summe der ausgeglichenen Winkel $= 180 + \varepsilon$ sein, wo ε als sphärischer Exzeß bestimmt durch $\varepsilon = \frac{F}{R^2} 206\,265$; F ist der Flächeninhalt des Dreiecks und R der Flächenkrümmungshalbmesser an der betreffenden Stelle. Für ein gleichseitiges Dreieck von 50 km Seitenlänge beträgt $\varepsilon = 5,5''$.

Messung der Basis oder Grundlinie. Nicht eine Seite des Netzes I. Ordnung, sondern eine in günstigem Gelände gelegene Strecke von 2 bis 5 km Länge wird direkt gemessen.

Bessels Basisapparat unter Benutzung von (4) Endmaßstäben; Brunners Apparat unter Benutzung eines Strichmaßstabes; in neuerer Zeit kommt Jäderins Verfahren für geeignete Zwecke mehr in Vorschlag, wobei die Messung mittels eines gespannten Drahtes (Invardraht aus Nickelstahl von 24 m und darüber lang) erfolgt; erstere Apparate geben einen Genauigkeitsgrad von $\frac{1}{1\,000\,000}$ (Strecke von 1 km auf 1 mm genau) und darüber, während bei Jäderins Verfahren der Genauigkeitsgrad auf $\frac{1}{50\,000}$ veranschlagt wird. Die unmittelbar gemessene Basislänge L wird auf den Meereshorizont reduziert $= L_0$; ausreichend $L_0 = L \left(1 - \frac{h_m}{R_{\chi}} \right)$, wo h_m als durchschnittliche Höhenlage der Einzelstrecke bestimmt ist durch $h_m = \frac{\sum h_s}{n}$ und R_{χ} der Krümmungshalbmesser des Vertikalschnittes der Basisstrecke.

Aus der reduzierten Basislänge wird durch Anlage des Basisnetzes trigonometrisch die Länge einer Seite des Netzes I. Ordnung abgeleitet.

Eine Basis reicht aus; wird aber mit einer Basis durch ein weit ausgedehntes Netz hindurchgerechnet, so wird mit wachsender Anzahl der zu durchrechnenden Dreiecke infolge der Winkelfehler die Genauigkeit in den Seitenlängen stark herabgedrückt. Diesem Uebelstande wird vorgebeugt, indem mehrere Grundlinien gemessen werden. Bei der preussischen Landesaufnahme sind Basisnetze in Abständen von 250 bis 300 km angeordnet, so dafs für das ganze Gebiet 9 Grundlinien in Betracht kommen.

Aus einer Seite und den ausgeglichenen Winkeln werden die Längen aller anderen Dreiecksseiten berechnet, am einfachsten nach Legendres Theorem (sonst auch nach der Additamenten- und Sehnenmethode), wonach jedes direkt meßbare sphärische Dreieck (für die Rechnung) ersetzt wird durch ein ebenes Dreieck von gleichen Seitenlängen und mit Winkeln, welche man erhält, indem man die sphärischen Winkel um $\frac{1}{3}\varepsilon$ (des betreffenden Dreiecks) vermindert. Mit der Ermittlung aller Seitenlängen schließt die Bearbeitung des Netzes I. Ordnung zunächst ab. In dieses Netz I. Ordnung werden durch Horizontalwinkelmessungen die Netze der Punkte II. III. und IV. Ordnung schrittweise eingebunden der Art, dafs an der Lage der bereits festgelegten Punkte nichts mehr geändert werden darf. Auf diese Weise wird schließlich für jeden einzelnen Netzpunkt die Lage der benachbarten Netzpunkte erhalten durch die Richtungen und Entfernungen

nach denselben. Um nun die Lage aller Punkte nach Koordinaten berechnen zu können, und zwar nach rechtwinklig sphärischen (Soldnerschen) Koordinaten bzw. nach geographischen Koordinaten, muß das Dreiecksnetz auf dem Rotationsellipsoid orientiert werden, indem in einem Punkte (Zentralpunkt: Rauenberg bei Berlin) die geographische Breite φ und das Azimut einer von diesem Punkte ausgehenden Dreiecksseite astronomisch bestimmt wird. Wird für diesen Zentralpunkt das Rotationsellipsoid so gedreht, daß die Normale dem Ellipsoid zugehörend mit der Lotlinie dem Geoid angehörig und die Rotationsachse des Ellipsoids mit der Erdachse zusammenfällt (oder derselben parallel verläuft), so kann mit den Elementen des Rotationsellipsoids und den zur Verfügung stehenden ausgeglichenen Winkeln und Entfernungen für jeden anderen Punkt geographische Breite und Längenunterschied **berechnet** werden. Wird dann für einzelne Punkte die geographische Breite und Längenunterschied direkt durch Beobachtungen astronomisch bestimmt, so wird in den Differenzen als den **Lotabweichungen** der Verlauf von Rotationsellipsoid gegen Geoid gefunden (für die Untersuchungen über Figur und GröÙe der Erde von Wichtigkeit).

Von seiten der Landesaufnahme werden veröffentlicht

1. **Mefstischblätter** (Originalaufnahme) im Maßstabe 1 : 25 000 mit Horizontalkurven. Jedes einzelne Blatt entspricht einem Parallelogramm von 10' Längen- und 6' Breitenunterschied. In die einzelnen, in ihren Abmessungen berechneten Blätter werden die in Betracht kommenden Punkte I. bis IV. Ordnung auf Grund der Koordinaten eingetragen. Darauf gestützt erfolgt die Geländeaufnahme tachymetrisch (mittels Mefstisch und Kippregel), indem im Gelände das Blatt zeichnerisch vollständig entwickelt wird; danach werden die Platten zur Vervielfältigung gestochen.

2. Karte des Deutschen Reiches	im Maßstabe 1 : 100 000	} aus der Mefstischblattaufnahme abgeleitet.
3. Übersichtsblätter	„ „ 1 : 200 000	

L. Abriss der Ausgleichsrechnung

nach der Methode der kleinsten Quadrate. Zweck: aus Beobachtungen, die in überschüssiger Anzahl ausgeführt sind, die wahrscheinlichsten Werte der zu ermittelnden Unbekannten als Ersatz für die wahren Werte dieser Unbekannten abzuleiten und den Genauigkeitsgrad der einzelnen Beobachtungen sowohl als des abgeleiteten Resultats zu ermitteln. In Betracht kommen nur die den Beobachtungen anhaftenden unvermeidlichen, zufälligen Fehler, welche dem Gesetz der wahren Fehler folgen. Allgemein

Beobachtung + wahrer Fehler (ϵ) = dem wahren Wert,
 „ + wahrscheinlichster Fehler (λ) = dem wahrscheinlichsten Wert.

Die wahren Fehler entziehen sich stets unserer Betrachtung, und nur die wahrscheinlichsten Fehler stehen uns zu Gebote. Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgleichen, heißt diejenigen Werte der Unbekannten als die wahrscheinlichsten ermitteln,

gegen welche die in den einzelnen Beobachtungen verbleibenden Fehler λ in ihrer Quadratsumme ein Minimum werden, für welche also $[\lambda\lambda] = \text{Minimum}$, wenn die Beobachtungen von gleicher Genauigkeit, $[p\lambda\lambda] = \text{Minimum}$, wenn Beobachtungen von ungleicher Genauigkeit vorliegen, wo p das Gewicht darstellt.

Genauigkeitsmaße. Die Genauigkeit von Beobachtungen bzw. der daraus abgeleiteten Resultate ist festgelegt durch

h als Maß der Präzision nach Gauß,

m als mittlerer Fehler, der Definition nach bestimmt durch

$$m^2 = \frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n},$$

r als wahrscheinlichster Fehler von solcher Größe, daß der irgend einer Beobachtung zukommende Fehler ebenso wahrscheinlich $\leq r$ sein kann.

ϑ als Durchschnittsfehler, der Definition nach bestimmt durch

$$\vartheta = \frac{[\varepsilon \text{ absolut}]}{n}.$$

Diese verschiedenen Genauigkeitsmaße müssen in mathematisch feststehenden Beziehungen zueinander stehen, denn einer vorliegenden Beobachtungsreihe kann im Vergleich zu einer anderen Reihe nur ein bestimmter Genauigkeitsgrad zukommen, nur verschieden ausgedrückt;

so bestehen die Beziehungen $m = \frac{1}{h\sqrt{2}}$; $r = 0,67449 m$ oder rund $\frac{2}{3} m$; $m = 1,2533 \vartheta$.

Die Gewichte p sind Verhältniszahlen, wodurch Beobachtungen ungleicher Genauigkeit, also z. B. mit verschiedenem mittleren Fehler aufeinander bzw. auf dieselbe fingierte Beobachtungsreihe mit dem Gewichte $p = 1$ bezogen werden. Die Gewichte sind dem Quadrate der mittleren Fehler umgekehrt proportional, also $p_1 : p_n = \frac{1}{m_1^2} : \frac{1}{m_n^2}$.

Hinsichtlich der rechnerischen Behandlung unterscheidet man zwischen direkten Beobachtungen, vermittelnden Beobachtungen, bedingten Beobachtungen.

Behandlung direkter Beobachtungen. a) Von gleicher Genauigkeit.

Sind $l_1 \ l_2 \ l_3 \dots l_n$ die ausgeführten Beobachtungen,

$\lambda_1 \ \lambda_2 \ \lambda_3 \dots \lambda_n$ deren plausibelste oder wahrscheinlichste Fehler,

x der wahrscheinlichste Wert der gesuchten Unbekannten, wo die Beziehung bestehen muß

$$x = l_1 + \lambda_1 = l_2 + \lambda_2 = \dots l_n + \lambda_n, \text{ also auch}$$

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_1 = x - l_1 \\ \lambda_2 = x - l_2 \\ \vdots \\ \lambda_n = x - l_n \end{array} \right\} \text{ als Fehlergleichungssystem, so ist } x \text{ als wahrscheinlichster Wert so zu bestimmen, daß } [\lambda\lambda] = \text{Minimum, erfüllt, wenn}$$

$$\frac{\partial [\lambda\lambda]}{\partial x} = 0 \text{ oder } 2\lambda_1 \frac{\partial \lambda_1}{\partial x} + 2\lambda_2 \frac{\partial \lambda_2}{\partial x} \dots + 2\lambda_n \frac{\partial \lambda_n}{\partial x} = 0$$

$$\text{oder } \lambda_1 + \lambda_2 + \dots \lambda_n = [\lambda] = 0 \text{ oder } x = \frac{[l]}{n}.$$

Wenn in diesem Falle wahrscheinlichster Wert gleich dem einfachen arithmetischen Mittel gefunden, so ist dies darin begründet, daß bei Herleitung des der Ausgleichung zugrunde liegenden Fehlergesetzes von dem arithmetischen Mittel als Axiom, als von der Natur aufgedrungen, ausgegangen worden.

Der mittlere Fehler m einer einzelnen gleich genauen Beobachtung ist bestimmt durch $m = \pm \sqrt{\frac{[\lambda\lambda]}{n-1}}$ und der mittlere Fehler μ des Resultates x ist bestimmt durch $\mu = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\lambda\lambda]}{n(n-1)}}$.

Den Wert $[\lambda\lambda]$ erhält man, indem man den gefundenen Wert x in die Fehlergleichungen einsetzt, wodurch λ_1 bis λ_n gefunden, deren Quadrate addiert $[\lambda\lambda]$ liefern.

b) Von ungleicher Genauigkeit. Kommen den Beobachtungen $l_1, l_2 \dots l_n$ die Gewichte $p_1 \dots p_n$ zu, so ist der wahrscheinlichste Wert x so zu bestimmen, daß $[p\lambda\lambda] = \text{Minimum}$ wird; erfüllt, wenn

$$2p_1\lambda_1 \frac{\partial \lambda_1}{\partial x} + 2p_2\lambda_2 \frac{\partial \lambda_2}{\partial x} + \dots + 2p_n\lambda_n \frac{\partial \lambda_n}{\partial x} = 0$$

oder $[p\lambda] = 0$; nach dem Fehler-Gleichungssystem erfüllt, wenn

$$x = \frac{p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots + p_n l_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[p l]}{[p]}.$$

In diesem Falle ist x das allgemeine arithmetische Mittel oder das Mittel unter Berücksichtigung der Gewichte.

Der mittlere Fehler m der Beobachtung vom Gewicht $p=1$ (der Gewichtseinheit) ist bestimmt durch $m = \pm \sqrt{\frac{[p\lambda\lambda]}{n-1}}$ und der mittlere Fehler μ des Resultats x ist bestimmt durch

$$\mu = \pm \frac{m}{\sqrt{[p]}} = \pm \sqrt{\frac{[p\lambda\lambda]}{[p](n-1)}}.$$

Vermittelnde Beobachtungen. $l_1, l_2 \dots l_n$ in Summa n sind einzeln bekannte Funktionen der gesuchten Unbekannten xyz in Summa S .

Ist dann $n < S$, bleiben die Unbekannten unbestimmt,

$n = S$, sind die Unbekannten eindeutig bestimmt,

$n > S$, sind die Unbekannten überbestimmt, Ausgleichung erforderlich.

Für die weitere Behandlung wird vorausgesetzt, daß die bekannten Funktionen linear sind; ist dies nicht der Fall, so werden sie auf lineare Form zurückgeführt durch Einführung von Näherungswerten derart, daß ursprüngliche Unbekannte $X = \text{Näherungswert} + \text{neue Unbekannte } x$; die neuen Unbekannten $x, y, z \dots$ sind dann kleine Größen, deren höhere Potenzen und Produkte als Größen höherer Ordnung gegen die erste Potenz vernachlässigt werden können.

Näherungswerte führt man in der Praxis auch dann ein, wenn die Funktionen bereits von linearer Form sind, jetzt lediglich zu dem Zwecke, um es mit kleinen Größen zu tun zu haben, deren rechnerische Ermittlung praktisch bequemer.

Bei vermittelnden Beobachtungen treten die anzusetzenden Fehlergleichungen in der folgenden typischen Form auf:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= -l_1 + a_1 x + b_1 y + c_1 z \dots \\ \lambda_2 &= -l_2 + a_2 x + b_2 y + c_2 z \dots \\ &\vdots \\ \lambda_n &= -l_n + a_n x + b_n y + c_n z \dots \end{aligned} \right\} n > S; \quad (1)$$

l_1 bis l_n sind die beobachteten Größen; a, b, c sind Koeffizienten aus der Aufgabe hervorgehend, welche im speziellen auch gleich 1 und im einzelnen auch $= 0$ werden können.

Sind die Beobachtungen von gleicher Genauigkeit, so kommt das Fehlergleichungssystem 1. unmittelbar zur Verwendung; sind die Beobachtungen von ungleicher Genauigkeit, kommen also den Beobachtungen die einzeln verschiedenen Gewichte $p_1, p_2 \dots p_n$ zu, so denkt man sich die Fehlergleichungen der Reihe nach mit $\sqrt{p_1}, \sqrt{p_2} \dots \sqrt{p_n}$ multipliziert, wodurch ein zu 1. analoges System 2. entsteht in der Form

$$\left. \begin{aligned} \lambda'_1 &= -l'_1 + a'_1 x + b'_1 y + c'_1 z \\ \lambda'_2 &= -l'_2 + a'_2 x + b'_2 y + c'_2 z \\ &\vdots \\ \lambda'_n &= -l'_n + a'_n x + b'_n y + c'_n z \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

so daß beide Fälle zugleich weiter behandelt werden können. Die Unbekannten $x y z \dots$ sind so zu bestimmen, daß

$[\lambda \lambda] = \text{Minimum}$ für 1. bzw. $[p \lambda \lambda] = [\lambda' \lambda'] = \text{Minimum}$ für 2. wird.

In unserem Falle der vermittelnden Beobachtungen sind die Unbekannten völlig unabhängig voneinander, so daß der Minimumbedingung genügt, wenn die partiellen Ableitungen nach den einzelnen Unbekannten einzeln der 0 gleich gesetzt werden, also

$$\frac{\partial [\lambda \lambda]}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial [\lambda \lambda]}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial [\lambda \lambda]}{\partial z} = 0 \dots$$

gebildet nach 1. bzw. 2.;

liefert $[a \lambda] = 0; \quad [b \lambda] = 0; \quad [c \lambda] = 0 \quad (3)$

Für das System 1. bzw. 2. ausgeführt, entsteht

$$\left. \begin{aligned} [a \lambda] &= [a a] x + [a b] y + [a c] z \\ [b \lambda] &= [a b] x + [b b] y + [b c] z \\ [c \lambda] &= [a c] x + [b c] y + [c c] z \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{als Normalgleichungssystem,} \\ \text{wenn drei Unbekannte zu be-} \\ \text{stimmen; wenn mehr Unbe-} \\ \text{kannte, ganz analog gebildet.} \end{array} \quad (4)$$

Die Auflösung des Systems 4., am übersichtlichsten und praktisch bequemsten nach Gauß' Verfahren durchgeführt, liefert die Unbekannten selbst. Durch Einsetzen derselben in 1. bzw. 2. erhält man die einzelnen λ und durch Quadrieren und Addieren auch direkt

$$[\lambda \lambda] \text{ bzw. } [\lambda' \lambda'] = [p \lambda \lambda].$$

Andererseits erhält man summarisch

$$[\lambda \lambda] = [l l] - [a l] x - [b l] y - [c l] z$$

oder unter Zuhilfenahme der bei Auflösung von 4. sich ergebenden Zwischengrößen unter Beibehaltung der Gaußschen abkürzenden Bezeichnungen

$$[\lambda \lambda] = [l l] - \frac{[a l]^2}{[a a]} - \frac{[b l \cdot 1]^2}{[b b \cdot 1]} - \frac{[c l \cdot 2]^2}{[c c \cdot 2]}.$$

Dann ist der mittlere Fehler m

a) für Beobachtungen gleicher Genauigkeit:

$$\text{einer Beobachtung } m = \pm \sqrt{\frac{[\lambda \lambda]}{n - S}}$$

b) für Beobachtungen ungleicher Genauigkeit:

$$\text{der Gewichtseinheit } m = \pm \sqrt{\frac{[p \lambda \lambda]}{n - S}}.$$

Die mittleren Fehler der ermittelten wahrscheinlichsten Resultate also in x, y, z : $\mu_x \mu_y \mu_z$ sind bestimmt durch

$$\mu_x = \pm m \sqrt{Q_{11}}; \quad \mu_y = \pm m \sqrt{Q_{22}}; \quad \mu_z = \pm m \sqrt{Q_{33}},$$

wo Q Hilfsgrößen, durch die **allgemeine Auflösung** des Systems 4. erhalten, nämlich durch Auflösen folgender Systeme, in denen die Glieder der rechten Seite aus der Auflösung von 4. alle zur Verfügung stehen:

$$\begin{aligned} 1 &= [a a] Q_{11} + [a b] Q_{12} + [a c] Q_{13} \\ 0 &= [a b] \text{ „ } + [b b] \text{ „ } + [b c] \text{ „ } \\ 0 &= [a c] \text{ „ } + [b c] \text{ „ } + [c c] \text{ „ } \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 &= [b b \cdot 1] Q_{22} + [b c \cdot 1] Q_{23} \\ 0 &= [b c \cdot 1] \text{ „ } + [c c \cdot 1] \text{ „ } \end{aligned}$$

$$1 = [c c \cdot 2] Q_{33}.$$

Bei mehr als drei Unbekannten ist, sobald eben $n > S$, die Behandlung ganz analog durchzuführen.

Bedingte Beobachtungen: In diesem Falle sind die wahrscheinlichsten Werte der gesuchten Unbekannten so zu bestimmen, dafs für dieselben nicht nur $[\lambda \lambda]$ bzw. $[p \lambda \lambda]$ ein Minimum wird, sondern von den Werten zugleich theoretisch gegebene Bedingungsgleichungen, zwischen den wahren Werten bestehend, ebenfalls erfüllt werden. (Minimum mit Nebenbedingungen; z. B. Ausgleichung eines Dreiecksnetzes.) Anzahl der Beobachtungen n , der Unbekannten S , der bestehenden gegebenen Bedingungsgleichungen b . Jede Bedingungsgleichung gestattet eine der Unbekannten durch die übrigen auszudrücken, mithin verbleiben $S - b$ Unbekannte durch Beobachtungen zu bestimmen, und nur wenn $n > (S - b)$ kann von einer Ausgleichung die Rede sein. Behandlung der bedingten Beobachtungen:

a) indirekt, durch Zurückführen auf vermittelnde Beobachtungen, indem in dem Fehlergleichungssystem so viel Unbekannte, als Bedingungsgleichungen bestehen, durch die übrigen Unbekannten ausgedrückt werden, so dafs die noch verbleibenden Unbekannten als völlig unabhängig voneinander auftreten, und ist die weitere Behandlung die bei vermittelnden Beobachtungen dargelegte;

b) direkt durch Einführen der Korrelatenwerte oder Lagrange-schen Multiplikatoren. Die weitere Behandlung des Falles b) läuft darauf hinaus, dafs, anstatt die ursprüngliche Funktion F (in unserem Falle $F = [\lambda \lambda]$ bzw. $[p \lambda \lambda]$) zu einem Minimum zu machen, die er-

weiterte Funktion $F^x = F - 2 \cdot I \{ \text{Bedingungsgleichung I} \} - 2 \cdot II \{ \text{Bedingungsgleichung II} \} - \dots - 2 \cdot N \{ \text{Bedingungsgleichung N} \}$ zu einem Minimum zu machen ist, wo in F^x die zu ermittelnden Unbekannten aber als völlig unabhängig voneinander anzusehen sind. Es sind I II ... N die zu bestimmenden Korrelatenwerte oder Multiplikatoren, mit welchen die gegebenen Bedingungsgleichungen I II ... N multipliziert werden müssen.

F^x wird dann zu einem Minimum, wenn die partiellen Ableitungen einzeln = 0 werden. Also $\frac{\partial F^x}{\partial x} = 0$; $\frac{\partial F^x}{\partial y} = 0$; $\frac{\partial F^x}{\partial z} = 0$ usf.

Hierdurch erhält man die zu ermittelnden Unbekannten $x, y, z \dots$ in Funktionswerten der Korrelaten I II ... N als Fehlergleichungen. Setzt man diese Werte in die einzelnen Bedingungsgleichungen zurück, so entsteht ein **System von Normalgleichungen** in gleicher Anzahl mit der Anzahl der Bedingungsgleichungen bzw. Korrelatenwerte in der Form α , dessen Auflösung (nach Gauß' Verfahren) die Korrelatenwerte I II ... N liefert

$$\alpha) \quad \begin{aligned} w_1 &= [aa] I + [ab] II \dots [an] N \\ w_2 &= [ab] I + [bb] II \dots [bn] N \\ &\vdots \\ w_n &= [an] I + [bn] II \dots [nn] N \end{aligned}$$

eingesetzt in die Fehlergleichungen, erhält man die Unbekannten selbst.

Bei bedingten Beobachtungen wird der mittlere Fehler m der einzelnen Beobachtung bzw. der Gewichtseinheit berechnet nach

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\lambda\lambda]}{n + b - S}} \quad \text{bzw.} \quad m = \pm \sqrt{\frac{[p\lambda\lambda]}{n + b - S}},$$

wo analog wie bei vermittelnden Beobachtungen $[\lambda\lambda]$ gebildet wird

1. direkt durch Quadrieren und Addieren der einzelnen λ ,
2. summarisch nach

$$[\lambda\lambda] \quad \text{bzw.} \quad [p\lambda\lambda] = w_1 I + w_2 II + \dots w_n N = [w I],$$

3. summarisch unter Benutzung der Größen bei Auflösung des Systems α)

$$[\lambda\lambda] \quad \text{bzw.} \quad [p\lambda\lambda] = \frac{w_1^2}{[aa]} + \frac{[w_2 \cdot 1]^2}{[bb \cdot 1]} + \frac{[w_3 \cdot 2]^2}{[cc \cdot 2]} + \dots \frac{[w_n(n-1)]^2}{[nn(n-1)]}.$$

Fehlerfortpflanzungsgesetz.

Sind x, y, z, \dots als aus Beobachtungen hervorgegangen, behaftet mit den mittleren Fehlern

$\pm \mu_x, \pm \mu_y, \pm \mu_z$, oder kommen diesen Größen die entsprechenden Gewichte

p_x, p_y, p_z zu, welches ist dann der mittlere Fehler μ_F bzw. P in $X = f(x, y, z, \dots)$?

$$1. \quad X = x \pm y \pm z \dots, \text{ so ist } \mu_F = \pm \sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2 + \mu_z^2}$$

$$= \pm \sqrt{[\mu_x^2]} \quad \text{und} \quad \frac{1}{P} = \frac{1}{p_x} + \frac{1}{p_y} + \frac{1}{p_z} \dots = \left[\frac{1}{p} \right].$$

Sonderfall: $\mu_x = \mu_y = \mu_z = \dots = \mu$; $p_x = p_y = p_z = \dots = p$

$$\text{ist } \mu_F = \pm \mu \sqrt{n}; \quad \frac{1}{P} = n \cdot \frac{1}{p}; \quad P = \frac{p}{n}.$$

2. $X = a x$, wo a ein Faktor, ist $\mu_F = \pm a \mu x$; $P = \frac{p x}{a^2}$.

3. $X = a x \pm b y \pm c z \dots$ ist $\mu_F = \pm \sqrt{a^2 \mu_x^2 + b^2 \mu_y^2 + c^2 \mu_z^2}$

$$= \pm \sqrt{[a^2 \mu_x^2]}$$

$$\frac{1}{P} = \frac{a^2}{p_x} + \frac{b^2}{p_y} + \frac{c^2}{p_z} \quad = \left[\frac{a^2}{p_x} \right]$$

für den Sonderfall wie bei 1.

$$\mu_F = \pm \mu \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 \dots} = \pm \mu \sqrt{[a^2]} \text{ und}$$

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{p} [a a]; \quad P = \frac{p}{[a a]}.$$

4. Ist allgemein $X = \text{Funktion } f(x, y, z)$, so ist

$$\mu_F = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \mu_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \mu_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \mu_z^2 \dots}$$

$$= \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \mu_x^2\right]}$$

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{p_x} \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{p_y} \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \frac{1}{p_z} \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2$$

$$= \left[\frac{1}{p_x} \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \right].$$

ZWEITER ABSCHNITT.

STATIK DER BAUKONSTRUKTIONEN.

I. ALLGEMEINES.

A. Statische Berechnungen.

1. Anwendung. Die statische Berechnung hat sich zu erstrecken:

1. auf alle Eisenkonstruktionen,
2. auf die Holzkonstruktionen von größeren Abmessungen oder ungewöhnlicher Anordnung bei Mangel an Erfahrungsregeln,
3. auf Gurtbögen und Gewölbe, Widerlager und Verankerungen, ähnlich wie 2.,
4. auf steinerne Säulen, auf Pfeiler, Wände, freistehende Schornsteine usw. mit so geringen Abmessungen, daß die Untersuchung der Beanspruchung durch lotrechte Lasten und Winddruck für erforderlich erachtet wird,
5. auf Eisenbetonkonstruktionen,
6. auf die Abmessungen der Fundamente.

2. Anordnung.*) Bei eisernen **Brücken** beginnt man stets mit der Berechnung der Brückenbahn und ermittelt hierbei schrittweise die Abmessungen der Fahrbahntafel, der Längs- und Querträger, der Fußwege und des Geländers. Alsdann folgt die Berechnung und Untersuchung der Hauptträger, der Wind-, Brems- und Querverbände der Auflager, der Pfeiler und der Pfeilergründung.

Entsprechend beginnt man bei **Hochbauten** mit dem Dach, alsdann folgt die Berechnung der Zwischendecken, der Säulen und außergewöhnlich beanspruchten Wände, die Untersuchung des oberen Abschlusses von Fenstern und Türen, die der Gurtbogen und Gewölbe nebst Widerlagern und die Ermittlung der Abmessungen der vor kommenden Verankerungen. Den Schluß bildet die Berechnung der Fundamentsohlen bzw. der gewählten künstlichen Gründungsart je nach der Beschaffenheit und Tragfähigkeit des vorher untersuchten Baugrundes.

*) S. den Erlaß vom 1. Mai 1903 — I D 3216 des preussischen Ministers der öffentlichen Arbeiten: Vorschriften für das Entwerfen der Brücken mit eisernem Ueberbau. Verlag von W. Ernst & Sohn, Berlin.

Der Reihe nach sind bei den einzelnen Bauteilen zu ermitteln:

1. Die äußeren (angreifenden) Kräfte, d. h. die Gesamtbelastung, bestehend aus dem Eigengewicht und der Nutzlast, sowie n. Umst. aus Witterungseinflüssen (Wind und Schnee),

2. die inneren (widerstehenden) Kräfte (Spannkräfte) der Bauteile und die Art ihrer Wirkung (Zug, Druck, Biegung, Knickung usw.), und bei Gewölben und Widerlagern der Verlauf der Drucklinie und der Nachweis der Standsicherheit,

3. die Stärke (d. h. die Querschnitte) der Bauteile und ihre Spannung (d. h. Beanspruchung der Flächeneinheit [meist qcm]),

4. die Art der Verbindung der einzelnen Teile, Stärke und Anordnung der Niete, Verschraubungen usw.

5. An die statische Berechnung schließen sich an: die **Massen- und Gewichtsberechnung**, der **Kostenanschlag** und, wenn nötig, ein **Erläuterungsbericht**.

B. Belastungen und Eigengewichte.

1. Berechnungsgrundlagen für die statische Untersuchung von Hochbauten.

Ausführliche Angaben sind enthalten in den „Bestimmungen über die bei Hochbauten anzunehmenden Belastungen und die Beanspruchungen der Baustoffe“. Erlafs III. 55 D. B. des preussischen Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 31. Januar 1910. Erschienen im Verlage von Ernst u. Sohn, Berlin 1910.

a. Eigengewichte von Zwischendecken und Dächern.

α) Decken.

Holzbalkendecken bis 1 m Balkenabstand und 24/26 cm Balkenstärke: Gewicht
in
kg/qm

- | | |
|---|-----|
| 1. Balkenlage nur mit Fußboden | 70 |
| 2. Balkenlage mit halbem Windelboden und Fußboden ohne unteren Verputz | 220 |
| 3. Balkenlage wie vor, jedoch unterhalb verschalt und verputzt | 250 |
| 4. Balkenlage mit ganzem Windelboden, unterhalb mit Lehm verstrichen, mit Fußboden, ohne Deckenputz | 360 |

Gewölbe.

- | | |
|--|-----|
| 5. Kappengewölbe aus vollen Ziegeln in $\frac{1}{2}$ St. Stärke, zwischen Trägern bis 2 m Spannweite, Abgleichung mit Koksasche bis zur Oberfläche des Gewölbes und Holzfußboden | 340 |
| 6. Kappengewölbe wie vor, jedoch mit Abgleichung bis zur Oberfläche der Lagerhölzer | 410 |
| 7. Kappengewölbe wie Nr. 5, jedoch aus Lochsteinen | 290 |
| 8. Kappengewölbe wie Nr. 6, jedoch aus Lochsteinen | 320 |
| 9. Kappengewölbe wie Nr. 5, jedoch aus Schwemmsteinen oder porigen Steinen | 250 |
| 10. Kappengewölbe aus Kiesbeton, sonst wie Nr. 5 | 320 |

Ebene Massivdecken.		Gewicht in kg/qm
11.	aus Beton, 6 cm stark, mit oder ohne Eiseneinlagen, mit 14 cm hoher Abgleichung von Koksasche und mit Holzfufsboden	290
12.	aus Eisenbeton, 10 cm stark, mit Verstärkungen der Auflager, 5 cm Sandauffüllung, Estrich und Linoleum	430
13.	aus Schwemmsteinen, 12 cm stark, mit Eiseneinlagen, 10 cm Koksaschenauffüllung und Holzfufsboden	250
14.	aus Schwemmsteinen mit Sandauffüllung, sonst wie Nr. 13	340
15.	aus porigen Hohlziegeln, 10 cm hoch, mit Konsolauflagern, 5 cm Schlackenbetonauffüllung, Estrich und Linoleum . .	230
16.	aus vollen Ziegeln, $\frac{1}{2}$ St. stark, 10 cm Betonauftrag und Fliesen	540
17.	aus vollen Ziegeln, $\frac{1}{4}$ St. stark, als unbelastete Decke ohne Ueberschüttung oder Fufsboden	130
18.	aus porigen Hohlziegeln, 10 cm stark, ohne Eiseneinlagen, mit 10 cm Koksaschenauffüllung und Holzfufsboden . . .	220
19.	aus porigen Hohlziegeln, bis 13 cm hoch, sonst wie vor .	260

β) Dächer.

(Gewichte für 1 qm Dachfläche.)

20.	Einfaches Ziegeldach aus Biberschwänzen mit Latten und Sparren	75
21.	dasselbe, böhmisch gedeckt (in vollem Mörtelbett)	85
22.	Doppeldach aus Biberschwänzen mit Latten und Sparren .	95
23.	dasselbe, böhmisch gedeckt	115
24.	Kronendach aus Biberschwänzen mit Latten und Sparren .	105
25.	dasselbe, böhmisch gedeckt	130
26.	Pfannendach auf Lattung, aus kleinen holländischen Pfannen einschl. Latten und Sparren	80
27.	dasselbe, aus großen Pfannen	85
28.	Pfannendach auf Stülpschalung mit Strecklatten, Dachlatten und Sparren	100
29.	Falzziegeldach einschl. Latten und Sparren	65
30.	Mönch- und Nonnendach mit Latten und Sparren	100
31.	dasselbe, böhmisch gedeckt	115
32.	Englisches Schieferdach auf Lattung, mit Latten und Sparren	45
33.	Englisches Schieferdach auf Schalung, mit Schalung und Sparren	55
34.	Deutsches Schieferdach auf Schalung und Pappunterlage, mit Schalung, Sparren und Pappe	65
35.	dasselbe, jedoch aus kleineren Steinen (etwa 20 cm lang, 15 cm breit)	60
36.	Zinkdach in Leistendeckung einschl. Schalung und Sparren	40
37.	Kupferdach mit doppelter Falzung, mit Sparren und Schalung	40
38.	Einfaches Teerpappdach mit Schalung und Sparren . . .	35
39.	Doppelpappdach mit Kiesüberzug, mit Schalung und Sparren	55

	Gewicht in kg/qm
40. Holzzementdach einschl. 7 cm Kiesdecke, Schalung und Sparren	180
41. Holzzementdach auf Gewölbe, Abgleichung mit Koksasche, Zementestrich und 7 cm Kiesdecke	520
42. Glasdach auf Eisensprossen, einschl. der Sprossen, bei 4 mm Glasdicke	22
43. dasselbe, bei 5 bis 6 mm starkem Roh- oder Drahtglase	30

b. Eigengewichte von Baustoffen und Baukörpern.)* kg/cbm

44. Erde, Sand, Lehm, nafs	2100
45. desgleichen, trocken	1600
46. Kies, nafs	2000
47. Kies, trocken	1700
48. Koksasche	700

Werkstücke und Quadermauerwerk aus

49. Granit, Basaltlava, Marmor	2800
50. Kalkstein	2500
51. Sandstein (schwerer Grauwacken- und Keupersandstein)	2700
52. sonstigem Sandstein	2400
53. Tuffstein	1400
54. Bruchsteinmauerwerk aus Granit	2700
55. desgleichen aus Kalkstein, Sandstein, Tonschiefer u. dgl.	2500

Mauerwerk aus künstlichen Steinen, u. zw. aus

56. Klinkern in Zementmörtel	1900
57. Hartbrandziegeln in Kalkzementmörtel	1800
58. Ziegelsteinen in Kalkmörtel	1600
59. porigen Vollziegeln	1100
60. Lochziegeln	1300
61. porigen Lochziegeln	1100
62. Schwemmsteinen	1000
63. Kalksandsteinen	1800

Beton aus

64. Kies, Granitschotter u. dgl.	2200
65. Kies, Granitschotter u. dgl., einschl. Eiseneinlagen bei Eisenbeton	2400
66. Ziegelschotter	1800
67. Koks- oder Kohlschlacke oder Bimskies	1000

Bauhölzer:

68. Kiefer, lufttrocken	650
69. Fichte, „	550
70. Tanne, „	600
71. Eiche, „	900

*) Weitere Angaben s. Band I, Abschnitt 5 über Stoffkunde. Siehe auch: Boerner, Statische Tabellen, 3. Auflage, Berlin, Ernst & Sohn, 1910.

	Gewicht in kg/cbm
Metalle:	
72. Gufseisen	7250
73. Schweifseisen	7800
74. Flufseisen	7850
75. Flufsstahl	7860
76. Blei	11400
77. Kupfer, gewalzt	8900
78. Bronze	8600
79. Zink, gegossen	6900
80. „ gewalzt	7200
81. Zinn, gewalzt	7400

c. Belastungen.

	kg/qm
82. Nutzlast in Wohngebäuden und kleineren Geschäftsgebäuden	250
83. Nutzlast in Versammlungssälen, Unterrichtsräumen, Turnhallen, Warenhäusern, Fabriken, wenn nicht nach den vorliegenden Umständen gröfsere Belastungen anzunehmen sind,	500
84. Nutzlast für Decken unter Durchfahrten und befahrenen Höfen, soweit nicht gröfsere Einzellasten (Raddruck) zu erwarten sind,	800
85. Treppennutzlast	500
86. In Lagerräumen ist die Nutzlast nach dem Eigengewicht der zu lagernden Stoffe und der Höhe der Lagerung zu ermitteln.	

Für Aktengerüste und Schränke in Registraturen, Bibliotheken, Archiven usw. ist einschliesslich der Hohlräume eine Nutzlast von 500 kg für das Raummeter anzunehmen.

87. Nutzlast in Dachbodenräumen städtischer Wohngebäude . 125
88. Die Schneelast ist zu 75 kg/qm der Dachfläche anzunehmen und dabei die Möglichkeit einer vollen oder einer einseitigen Schneebelastung zu berücksichtigen. Bei steilen Dächern kann die Schneebelastung geringer angenommen werden, sofern einzelne Dachteile nicht etwa Schneesäcke bilden. Mit den Bezeichnungen h für die Höhe des Daches, l für seine Stützweite und α für den Neigungswinkel mit der Horizontalen kann die Schneebelastung angenommen werden

zu 55 kg/qm der Horizontalprojektion, wenn $h = \frac{1}{2} l$ ist,
 „ 65 „ „ „ „ „ $h = \frac{1}{3} l$ „ „
 „ 70 „ „ „ „ „ $h = \frac{1}{4} l$ „ „
 „ 75 „ „ „ „ „ $h = \frac{1}{5} l$ „ „

oder der Schneedruck kann aus folgender Formel berechnet werden

$$S = 75 \cos \alpha \text{ (kg/qm)}$$

für 1 qm der Horizontalprojektion.

Bei ganz steilen Dächern, an denen nur geringfügige Schneemassen haften können, etwa von $\alpha = 50^\circ$ an, ist eine Schneelast nicht weiter in Betracht zu ziehen.

89. Der Winddruck ist in der Regel zu 125 kg/qm rechtwinklig getroffener Fläche anzunehmen. Für hohe Bauten auf kleiner Grundfläche (schlanke Türme) ist außerdem noch der Nachweis zu führen, daß bei einem Winddruck von 150 kg/qm die für die zulässigen Beanspruchungen angegebenen oberen Grenzen nicht überschritten werden.

Werden freistehende Gebäude, deren Frontwände nicht durch Querwände versteift sind, auf Standsicherheit gegen Winddruck untersucht, so genügt es, mit einem Winddruck von 75 kg/qm zu rechnen.

Bezeichnet α den Neigungswinkel eines Teiles F der Dachfläche gegen die wagerecht anzunehmende Windrichtung, so ist der auf die Fläche F entfallende und rechtwinklig zu ihr wirkende Winddruck

$$W = W_0 F \sin^2 \alpha,$$

wo $W_0 = 125$ bzw. 150 kg einzusetzen ist. Bei ebenen Dächern entfällt hiernach aus dem Winddruck von 125 kg/qm und bei einer

Dachneigung von	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
ein Betrag „	110	103	94	84	73	63	52	41	31	22 kg

rechtwinklig auf 1 qm der Dachfläche.

Bei Dachneigungen unter 25° genügt es in der Regel, den Winddruck durch einen Zuschlag zur senkrechten Belastung zu berücksichtigen; die wagerechte Seitenkraft darf vernachlässigt werden.

Bei Dächern über offenen Hallen ist auch ein von innen nach außen wirkender Winddruck von etwa 60 kg auf 1 qm rechtwinklig getroffener Fläche in Betracht zu ziehen.

90. Die Gesamtbelastung der Dächer, bestehend aus Eigengewicht, Schnee- und Winddruck, für 1 qm der Horizontalprojektion kann angenommen werden

beim Glasdach	mit 10 bis 25° Neigung zu	125 bis 150 kg,
„ Schieferdach „	25 „ 45° „	150 „ 250 „
„ Ziegeldach „	30 „ 45° „	250 „ 300 „
„ Holzzementdach		275 „

bei steilen Mansardendachflächen mit	
Schiefer- oder Ziegeldeckung von 45 bis	
70° Neigung	300 „ 700 „

91. In der Mitte der einzelnen Dachteile (Sparren, Pfetten, Sprossen eisen usw.) ist noch eine Nutzlast von 100 kg für einzelne, das Dach bei Wiederherstellungs- oder Reinigungsarbeiten betretende Personen anzunehmen.

Nr.	Gegenstand	Zulässige Beanspruchung in kg/qcm				
		Zug	Druck	Bie- gung	Ab- sche- rung	Loch- lei- bungs- druck
	d. Zulässige Beanspruchung der Baustoffe.					
92	Flufseisen in Trägern zur Unter- stützung von Decken und Treppen Als Stützlänge ist die Ent- fernung zwischen den Auflager- mitteln anzunehmen.	1200	1200	1200	1000	2000
93	Flufseisen in Stützen	1200	1200	1200	1000	2000
94	Flufseisen in Stützen bei genauer Berechnung der unter den un- günstigsten Umständen auftreten- den Kantenpressung Zu Nr. 93 und 94: Die Berechnung auf Knicken hat nach der Formel $J_{\min} = 2,33 P l^2$ zu erfolgen. Als Knicklänge gilt die ganze System- länge, bei übereinanderstehen- den, allseitig durch Deckenträger ausgesteiften Stützen die Ge- schosshöhe.	1400	1400	1400	1000	2000
95	Flufseisen in Dächern, Fachwerk- wänden, Trägern zur Unter- stützung von Wänden, Kran- bahnträgern, wenn die Quer- schnittgröße durch Eigenlast, Nutzlast und Schneedruck allein bedingt ist,	1200	1200	1200	1000	2000
96	Flufseisen in denselben Bauteilen, wenn die größte Spannung bei gleichzeitiger ungünstigster Wir- kung von Eigenlast, Nutzlast, Schneedruck und Winddruck von 150 kg/qm eintritt, . . .	1400	1400	1400	1000	2000
97	Ausnahmsweise darf bei Dächern, wenn für eine den strengsten An- forderungen genügende Durch- bildung, Berechnung und Aus- führung volle Sicherheit gegeben ist, für den Fall der Nr. 96 die Spannung betragen bis . . .	1600	1600	1600	—	—

Nr.	Gegenstand	Zulässige Beanspruchung in kg/qcm				
		Zug	Druck	Bie- gung	Ab- sche- rung	Loch- lei- bungs- druck
	Zu Nr. 95 und 96: Für Träger zur Unterstützung von Wänden gilt die Entfernung der Auflagermitten als Stützweite. Druckglieder sind nach der Formel $J_{\min} = 1,82 Pl^2$ auf Knicken zu berechnen; als Knicklänge gilt die Systemlänge.					
	Zu Nr. 93 bis 97: Maßgebend ist stets derjenige Fall, der den größten Querschnitt ergibt.					
98	Flufseisen in Ankern	800	—	—	—	—
99	Für Schweifseisen sind die in Nr. 92 bis 96 für Flufseisen angegebenen Werte überall um 10 vH zu ermäßigen. Noch weiter herabzusetzen ist die Beanspruchung von altem, wieder zur Verwendung gelangendem Eisen je nach seiner Beschaffenheit.					
100	Gufseisen in Auflagern	—	1000	—	—	—
101	Gufseisen in Säulen Die Berechnung der gußeisernen Säulen auf Knicken hat nach der Formel $J_{\min} = 8 Pl^2$ zu geschehen.	—	500	250	200	—
102	Stahlformgufs	—	—	1200	—	—
103	Schmiedestahl	1400	1400	1400	—	—
104	Eichenholz	100	80	100	15 parallel 80 rechtwinklig zur Faser	
105	Kiefernholz	100	60	100	10 parallel 60 rechtwinklig zur Faser	
106	Granit in Auflagersteinen	—	60	—	—	—
107	Granit in Pfeilern und Gewölben	—	45	—	—	—
108	Granit in sehr schlanken Pfeilern und Säulen	—	25	—	—	—
109	Sandstein in Auflagersteinen . .	—	30	—	—	—
110	Sandstein in Pfeilern und Gewölben	—	25	—	—	—

Nr.	Gegenstand	Zulässige Beanspruchung in kg/qcm				
		Zug	Druck	Bie- gung	Ab- sche- rung	Loch- lei- bungs- druck
111	Sandstein in sehr schlanken Pfeilern und Säulen	—	15	—	—	—
112	Kalkstein und Marmor in Auflagersteinen	—	30	—	—	—
113	Kalkstein und Marmor in Pfeilern und Gewölben	—	20	—	—	—
114	Kalkstein und Marmor in sehr schlanken Pfeilern und Säulen .	—	12	—	—	—
115	Mauerwerk aus gewöhnlichen Ziegeln in Kalkmörtel (1 R.-T. Kalk und 3 R.-T. Sand) . . .	—	bis 7	—	—	—
116	Mauerwerk aus Hartbrandziegeln in Kalkzementmörtel (1 R.-T. Zement, 2 R.-T. Kalk, 6 bis 8 R.-T. Sand)	—	12 bis 15	—	—	—
117	Mauerwerk aus Klinkern in Zementmörtel (1 R.-T. Zement, 3 R.-T. Sand mit Zusatz von etwas Kalkmilch)	—	20 bis 30	—	—	—
118	Mauerwerk aus porigen Ziegeln .	—	3 bis 6	—	—	—
119	Mauerwerk aus Schwemmsteinen von mindestens 20 kg/qcm Druckfestigkeit	—	bis 3	—	—	—
120	Mauerwerk aus Kalksandsteinen in Kalkmörtel wie Nr. 115 . . .	—	bis 7	—	—	—
121	Mauerwerk aus Kalksandsteinen in Kalkzementmörtel wie Nr. 116 .	—	12 bis 15	—	—	—
122	Bruchsteinmauerwerk in Kalkmörtel	—	bis 5	—	—	—
123	Fundamentmauern aus geschüttetem Beton	—	6 bis 8	—	—	—
124	Fundamentmauern aus gestampftem Beton	—	10 bis 15	—	—	—
125	Guter Baugrund	—	3 bis 4	—	—	—

Bemerkung. Die höheren Werte bei den Nrn. 115 bis 125 dürfen nur verwendet werden, wenn einwandfreie statische Untersuchungen unter Annahme der stärksten Belastungen bei Berücksichtigung der denkbar ungünstigsten Umstände durchgeführt werden.

2. Belastungen gewölbter Brücken.

a) **Eigengewicht.** Für mittlere Verhältnisse beträgt das Eigengewicht g bei

Straßenbrücken mit Beschotterung . . . $g = 0,6$ t/qm,

„ „ Pflasterung . . . $g = 1,0$ „ „

Eisenbahnbrücken allerart . . . $g = 1,1$ „ „

b) **Verkehrslasten.** Menschengedränge und Einzellasten aus Radrücken von Fahrzeugen. Statt der aus Fahrzeugen und Menschengedränge sich zusammensetzenden Belastung kann eine über die Brücke gleichmäßig verteilte Belastung p angenommen werden.

Es bedeuten:

l die Stützweite in m,

p' die Höhe der Verkehrsbelastung bei Gewölben aus Ziegelsteinen ($\gamma = 1,8$) in m,

p'' dieselbe Höhe bei Gewölben aus Bruchsteinen oder Beton ($\gamma = 2,3$) in m.

Straßenbrücken.

Nach Winkler ist

für leichte Wagen . . . $p = 0,37 + (1,7:l)$ t/qm,

„ mittelschwere Wagen . . $p = 0,34 + (2,6:l)$ „ „

„ schwere „ . . $p = 0,28 + (8,4:l)$ „ „

nach Tolkmitt

bei Spannweiten unter 10 m . . . $p' = 0,56$ m, $p'' = 0,44$ m,

„ „ von 10 bis 20 m . . . $p' = 0,44$ „ „ $p'' = 0,34$ „ „

„ „ über 20 m . . . $p' = 0,32$ „ „ $p'' = 0,24$ „ „

Für **Fußgängerbrücken** gibt Tolkmitt an:

$p' = 0,32$ m und $p'' = 0,24$ m.

Eisenbahnbrücken.

Nach Tolkmitt ist für **Hauptbahnen**

bei Spannweiten unter 18 m . . . $p' = 1,50$ m, $p'' = 1,20$ m,

„ „ von 18 bis 36 m . . . $p' = 1,35$ „ „ $p'' = 1,02$ „ „

„ „ über 36 m . . . $p' = 1,10$ „ „ $p'' = 0,85$ „ „

für **Nebenbahnen**

bei Spannweiten unter 10 m . . . $p' = 1,00$ m, $p'' = 0,78$ m,

„ „ von 10 bis 20 m . . . $p' = 0,82$ „ „ $p'' = 0,64$ „ „

„ „ über 20 m . . . $p' = 0,64$ „ „ $p'' = 0,50$ „ „

3. Belastungen eiserner Brücken.*)

(l ist überall die Stützweite der Brücken in m.)

a) **Eigengewichte von Straßenbrücken**)** mit Balkenträgern.

Die Gewichte sind in kg für 1 qm Grundriss der Fahrbahn angegeben,

u. zw. unter

α) das **Eisengewicht** der Hauptträger und des Fahrbahngerippes,

*) Siehe H. d. I. W.; Brückenbau, 2. Abt.; Landsberg, Die angreifenden Kräfte.

**) Nach Engeßer, Zeitschrift für Baukunde, 1881, S. 66.

β) das **Eisengewicht** der Fußwege, einschliesslich des durch sie bedingten Mehrgewichtes der Hauptträger, aber ohne Geländer, in kg für 1 qm Grundriss der Fußwege,

γ) das Gewicht des Bahnbelages.

Nach der Stärke des aufzunehmenden Verkehrs kann man leichte Landstraßenbrücken und schwere Stadtstraßenbrücken unterscheiden.

	α	β	γ
Landstraßenbrücken			
mit doppeltem Bohlenbelag (160 mm stark)	$105 + 2,3 l$ $+ 0,02 l^2$	$60 + 2,3 l$	Bohlenbelag 110
mit Beschotterung	$125 + 2,8 l$ $+ 0,025 l^2$	$60 + 2,3 l$	Belageisen 65 Schotter 400

Stadtstraßenbrücken			
mit doppeltem Bohlenbelag (200 mm stark)	$155 + 2,7 l$ $+ 0,021 l^2$	$80 + 2,7 l$	Bohlenbelag 140
mit Beschotterung	$170 + 3,2 l$ $+ 0,028 l^2$	$80 + 2,7 l$	Belageisen 80 Schotter 480
mit Pflasterung	$180 + 3,7 l$ $+ 0,029 l^2$	$80 + 2,7 l$	Belageisen 80 Pflaster 700 Buckelplatten 8 mm stark 65

b) Eigengewichte von Straßenbrücken mit Bogenträgern.

Die Gewichte sind in kg für 1 qm Grundriss der Fahrbahn angegeben. Unter α bzw. β stehen die dem Gesamtgewicht unter γ zugrunde gelegten Gewichte des Fahrbahngerippes bzw. der Fahrbahn. Liegen die Fußwege außerhalb der Hauptträger, so ist ihr Gewicht noch mitzurechnen.

Landstraßenbrücken			
	α	β	γ
mit doppeltem Bohlenbelag . . .	63	170	$250 + 1,9 l + 0,017 l^2$
mit Beschotterung . .	70	510	$610 + 2,1 l + 0,022 l^2$

Stadtstraßenbrücken

	α	β	γ
mit Holzpflaster . .	100	420	$532 + 5,4 l + 0,01 l^2$
mit Beschotterung .	85	540	$655 + 2,1 l + 0,022 l^2$
mit Steinpflaster . .	100	600	$712 + 6,0 l + 0,01 l^2$

c) Verkehrslasten für Straßenbrücken.

Die Verkehrslast besteht aus der Belastung durch Menschen und Fuhrwerke. Die Vorschriften der Staats- und Kommunalbehörden für die Belastung durch Fuhrwerke sind sehr verschieden. Für die Hauptträger bei Brücken bis etwa 30 m Spannweite wirken die größten Radlasten in der Regel ungünstiger als Menschengedränge. Es wird sich im allgemeinen empfehlen, wie bei Eisenbahnbrücken mit Lastenzügen zu rechnen, insbesondere wenn für die zu untersuchenden Größen der Hauptträger positive und negative Beitragsstrecken in Frage kommen. Die Zusammenstellung von Wagenzügen aus schweren und leichteren Fuhrwerken regelt sich nach der Bedeutung des über die Brücke zu führenden Verkehrs. Von mehreren nebeneinander aufgestellten Wagenzügen verschiedener Größe ist der schwerste dem untersuchten Hauptträger zunächst anzunehmen. Für die Fußsteige ist je nach Stärke des Verkehrs ein Menschengedränge von 400 bis 550 kg/qm in Rechnung zu stellen. Das Fahrbahngerippe und die Hauptträger kleinerer Brücken sind für schwerste Wagen oder eine Dampfwalze zu berechnen.

Uebliche Fuhrwerkslasten sind:

20 t-Wagen mit 4 Pferden nach Abb. 1,

12 t- „ „ 4 „ „ 2,

6 t- „ „ 2 „ „ 3 t Achslast, 2,6 m Achsabstand
und 4,6 m Wagenlänge;

ferner eine 23 t-Dampfwalze nach Abb. 3.

Abb. 1.

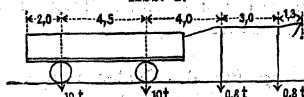


Abb. 2.

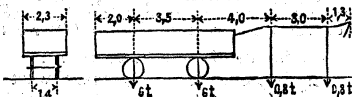
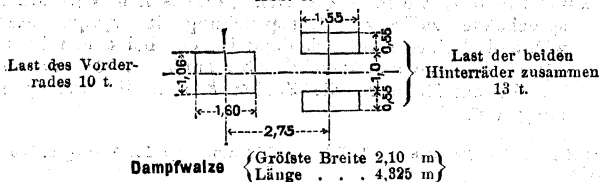


Abb. 3.



Für **Landstraßenbrücken** genügt es, 6 t- bis 12 t-Wagen anzunehmen. Bei **Stadtstraßenbrücken** rechnet man mit einem 20 t-Wagen, in besonderen Fällen mit der Dampfwalze; der übrige Teil der Fahrbahn-
tafel wird mit 12 t-Wagen, gegebenen Falles mit Menschengedränge belastet
gedacht. Für Totalbelastung der Hauptträger weitgespannter Stra-
ßenbrücken wird gewöhnlich mit Belastung durch Menschengedränge von
400 bis 550 kg/qm gerechnet, u. zw. für die Fahrbahn und einen
Fußweg.

Fußgängerbrücken untersucht man für Menschengedränge von
400 bis 550 kg/qm.

d) Gewichte von Eisenbahnbrücken mit Balkenträgern.

Das **Eigengewicht** ist nach **Häseler***) in kg für das Meter und Gleis:

a) Für eingleisige Brücken mit Fahrbahn oben

$$g = 530 + \left(5 + \frac{530 + 1,25 q}{k - l} \right) l,$$

$$g' = 3000 + \left(5 + \frac{3000 + 1,25 q}{k - l} \right) l.$$

b) Für eingleisige Brücken mit Fahrbahn unten

$$g = 930 + \left(5 + \frac{930 + 1,25 q}{k - l} \right) l,$$

$$g' = 3150 + \left(5 + \frac{3150 + 1,25 q}{k - l} \right) l.$$

c) Für zweigleisige Brücken mit Fahrbahn unten

$$g = 1060 + \left(4 + \frac{1060 + 1,25 q}{k - l} \right) l,$$

$$g' = 3250 + \left(4 + \frac{3250 + 1,25 q}{k - l} \right) l.$$

Erhält die Brücke außenliegende Fußwege, so ist deren Gewicht
besonders zu ermitteln und zuzuschlagen.

Diese Formeln haben Geltung für den preussischen Lastenzug
(s. S. 71) und zwar für Parallelträger; bei polygonalen Trägern ist
der Klammerwert noch mit 0,9 zu multiplizieren.

l ist die Spannweite in m;

q ist ein Belastungsgleichwert in kg für das Meter und Gleis,
der aus der folgenden Tabelle zu entnehmen ist;

$k = \sigma : 7850 C$, worin σ die den preussischen Vorschriften ent-
sprechende zulässige Beanspruchung in kg/qm bezeichnet,
während C einen Ausdruck darstellt, der bei dem mittleren Ver-
hältnis $h = l : 8$ den Wert $C = 3,2$ annimmt. Die nachfolgende
Tabelle enthält auch die Zahlen k und die zulässigen Span-
nungen σ .

*) Häseler, Der Brückenbau, I. Teil, IV. Lieferung, 2₁; Fr. Vieweg u. Sohn, Braun-
schweig.

l	20	30	40	50	60	80	100	120	m
σ	8500	8750	9000	9125	9250	9500	9750	10 000	t/qm
q	8520	7900	7510	7140	6770	6200	5780	5500	kg/m
k	338	348	358	363	368	378	388	398	

Aus den Gewichten der im Bereiche der preussischen Staatsbahnen ausgeführten Brücken hat **Dirksen***) folgende Werte gewonnen. Sie gelten für **eingleisige** gerade, nicht in einer Gleiskrümmung liegende Eisenbahnbrücken von unbeschränkter Bauhöhe. Für **zweigleisige** Brücken sind bei gleichen Bedingungen diese Werte zu verdoppeln.

Höhe des vollwandigen Hauptträgers $\frac{1}{14}l$ statt $\frac{1}{10}l$ erhöht das Hauptträgergewicht um 20 vH.

Höhe des Parallelträgers $\frac{1}{12}l$ statt $\frac{1}{8}l$ gibt Erhöhung des Hauptträgergewichtes um 15 vH.

Beschränkte Bauhöhe erhöht das Fahrbahngewicht bis zu 25 vH, schiefer Grundriß bis zu 15 vH.

Gleiskrümmung mit einem Radius unter 300 m verlangt eine Erhöhung des Gesamtgewichtes bis etwa 12 vH.

In der Tabelle bezeichnen

l die Stützweite in m,

b den Hauptträgerabstand in m.

Die Gewichte sind in kg für das Meter und Gleis angegeben. Sie gelten für folgende Bauarten der Brücken:

- α) Blechträger mit unmittelbarer Schwellenauflagerung, ohne besondere Fußwege auf Konsolen,
- β) Blechträger mit versenkter Fahrbahn und einem außerhalb eines Hauptträgers ausgekragten Fußweg,
- γ) Fachwerkträger mit untenliegender Fahrbahn und Stützweiten von 20 bis 40 m,
- γ') dsgl. für Stützweiten von 40 bis 80 m,
- δ) Fachwerkträger mit obenliegender Fahrbahn und beiderseits auskragenden Fußstegen,
- ε) Blechträger mit Durchführung des Schotterbettes auf Buckelblechen und Fahrbahnausbildung nach Abb. 4,
- ε') dsgl. nach Abb. 5.

Abb. 4.

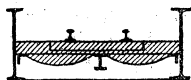
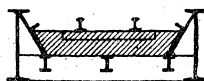


Abb. 5.



*) Siehe Z. d. B. 1904.

5) Blechträger mit durchgehendem Kiesbett über den Hauptträgern und $l/12$ Stehblechhöhe.

Bauart der Brücke	Gewicht der Hauptträger mit Querverband und Lagern kg/m	Hauptträgerabstand b m	Gewicht des Fahrbahn-gerippes kg/m	Gewicht der Fahr- bahntafel (Schienen, Schwellen, Bohlen- belag, ohne Leit- schienen [150 kg/m]) kg/m	Gesamtgewicht kg/m
α	$240 + 54 l$	1,8 2,0	— —	640 775	$880 + 54 l$ $1015 + 54 l$
β	$270 + 44 l$	3,0 3,3 3,7	380 430 520	595 630 660	$1245 + 44 l$ $1330 + 44 l$ $1450 + 44 l$
γ	$540 + 27 l$	4,8 4,9 5,0	600 625 670	680 680 680	$1820 + 27 l$ $1845 + 27 l$ $1890 + 27 l$
γ'	$680 + 27 l$	4,8 4,9 5,0	600 625 670	680 680 680	$1960 + 27 l$ $1985 + 27 l$ $2030 + 27 l$
δ	$540 + 27 l$	2,5 3,5	490 580	550 550	$1580 + 27 l$ $1670 + 27 l$
ε	$270 + 49 l$	3,3 3,7	670 840	2840 3260	$3780 + 49 l$ $4370 + 49 l$
ε'	$270 + 49 l$	3,3 3,7	770 940	2680 2820	$3720 + 49 l$ $4030 + 49 l$
ζ	Gewichte für 1 m Brückenbreite:				
	$160 + 24 l$			920	$1080 + 24 l$

Eine Zusammenstellung von Eigengewichten einer größeren Anzahl russischer Brücken von Paton findet sich im Anhang zur 4. Auflage des I. Bandes der Graphischen Statik der Baukonstruktionen von Müller-Breslau.

e) Gewichte von Eisenbahnbrücken mit Bogenträgern. *)

In der Tabelle sind unter g die Eigengewichte der als Zweigelenkbogen ausgebildeten Hauptträger und der Querverbände ohne Fahrbahngerippe und Fahrbahntafel in kg für 1 m und ein Gleis angeführt, unter g' die entsprechenden Gewichte für Dreigelenkbogen.

*) Vgl. Engelfser, Theorie und Berechnung der Bogenfachwerkträger ohne Scheitelenk. Berlin 1880.

$l =$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	m
$g =$	500	830	1160	1490	1820	2150	2480	2820	3180	3610	kg/m
$g' =$	425	710	1000	1280	1570	1852	2140	2332	2750	3120	kg/m

f) Belastungsvorschriften für die preussischen Staatsbahnen.*)

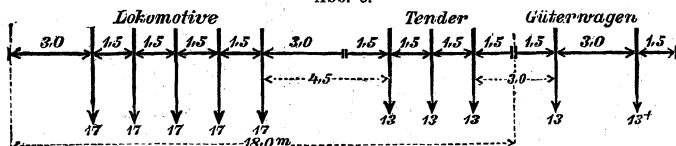
Erlaß des preuß. Ministers der öffentl. Arbeiten vom 1. Mai 1903 — ID 3216.**)

α. Lastenzug

für Brücken der Klasse Ia.***)

Der durch diese Bestimmungen vorgeschriebene neue Lastenzug liefert erheblich größere Momente und Querkräfte, als der früher gültige Erlaß vom September 1895 ergab; außerdem zeichnet er sich durch große Einfachheit aus und erleichtert daher die Berechnung auch in solchen Fällen, in denen die für einfache Balkenbrücken ausgearbeiteten Tafeln nicht benutzt werden können. Abb. 6 zeigt die Anordnung von Lokomotive, Tender und Güterwagen. Alle Radstände sind durch 1,5 teilbar. Es ist ein Zug aus zwei Lokomotiven in ungünstigster Stellung mit einer unbeschränkten Anzahl einseitig angehängter Güterwagen anzunehmen.

Abb. 6.



Bei der Berechnung kleinerer Brücken und der Quer- und Schwellenträger sind, soweit sich hierdurch größere Beanspruchungen ergeben, als durch die oben gezeichnete Lokomotive, folgende Belastungen anzunehmen:

eine Achse mit 20 t Belastung oder
zwei Achsen mit je 20 t Belastung
drei „ „ „ 19 t „
vier „ „ „ 18 t „

mit einem Achsabstand von je 1,5 m.

Leere Güterwagen wiegen etwa 1 t/m.

β. Momente.

Die Werte der Tafel 1 folgen dem Gesetze

$$\frac{M_x}{M_{\max}} = \frac{x(2d-x)}{d^2}$$

*) Vrgl. Müller-Breslau, Graphische Statik der Baukonstruktionen Bd. 1, 4. Aufl. Anhang.

**) Erschienen im Verlage von W. Ernst & Sohn, Berlin.

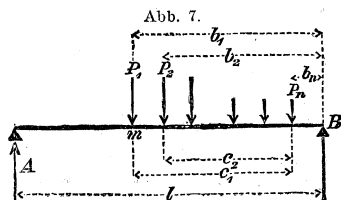
***) Klassenbezeichnung der Brücken nach dem preuß. Erlaß vom 1. Mai 1900 — ID 3598.

wo M_x das Biegemoment an der Stelle x des Balkens und $d = 0,44 l$ ist.

Tafel 1. Biegemomente M_x .

$\frac{x}{l}$	$\frac{M_x}{M_{\max}} = \gamma$	$\frac{d}{l} \frac{M_x}{M_{\max}} = \frac{x}{l}$	$\frac{x}{l}$	$\frac{M_x}{M_{\max}} = \gamma$	$\frac{d}{l} \frac{M_x}{M_{\max}} = \frac{x}{l}$	$\frac{x}{l}$	$\frac{M_x}{M_{\max}} = \gamma$	$\frac{d}{l} \frac{M_x}{M_{\max}} = \frac{x}{l}$
0,00	0,0000		0,17	0,6235		0,34	0,9483	
0,01	0,0449	4,49	0,18	0,6508	2,74			0,98
0,02	0,0888	4,39	0,19	0,6772	2,63	0,35	0,9582	0,88
0,03	0,1317	4,29	0,20	0,7025	2,53	0,36	0,9669	0,77
0,04	0,1736	4,18	0,21	0,7268	2,43	0,37	0,9747	0,67
0,05	0,2144	4,08	0,22	0,7500	2,32	0,38	0,9814	0,57
0,06	0,2541	3,98	0,23	0,7722	2,22	0,39	0,9871	0,46
0,07	0,2929	3,87	0,24	0,7934	2,12	0,40	0,9917	0,36
0,08	0,3306	3,77	0,25	0,8135	2,01	0,41	0,9954	0,26
0,09	0,3673	3,67	0,26	0,8326	1,91	0,42	0,9979	0,16
0,10	0,4029	3,56	0,27	0,8507	1,81	0,43	0,9995	0,05
0,11	0,4375	3,46	0,28	0,8678	1,70	0,44	1,0000	
0,12	0,4711	3,36	0,29	0,8838	1,60	0,45	1,0000	
0,13	0,5036	3,25	0,30	0,8988	1,50	0,46	1,0000	
0,14	0,5351	3,15	0,31	0,9127	1,39	0,47	1,0000	
0,15	0,5656	3,05	0,32	0,9256	1,29	0,48	1,0000	
0,16	0,5950	2,94	0,33	0,9375	1,19	0,49	1,0000	
0,17	0,6235	2,84	0,34	0,9483	1,08	0,50	1,0000	

Die Tafel 2 auf S. 73 enthält die größten Biegemomente M_{\max} einfacher Balken für Stützweiten von 1,0 bis 150 m, u. zw. in mt für ein Gleis. Für dazwischenliegende Stützweiten ist geradlinig einzuschalten, wozu die angegebenen Werte $d M_{\max} : d l$ benutzt werden. Die Werte $p = \frac{8 M_{\max}}{l^2}$ sind die **Belastungsgleichwerte**, d. h. die Werte einer gleichförmigen Vollbelastung, welche dieselben M_{\max} erzeugt, wie der Lastenzug.



γ. Querkräfte.

Bezeichnet

Σ_n die Summe der Einzelasten P_1 bis P_n ,

b_n den Abstand der Last P_n vom rechten Auflager (vgl. Abb. 7),

n die Anzahl der Einzelasten,

Tafel 2. Größte Biegemomente M_{\max} .

l	M_{\max}	$\frac{\Delta M_{\max}}{\Delta l}$	$\frac{p = 8 M_{\max}}{l^2}$	l	M_{\max}	$\frac{\Delta M_{\max}}{\Delta l}$	$\frac{p = 8 M_{\max}}{l^2}$	l	M_{\max}	$\frac{\Delta M_{\max}}{\Delta l}$	$\frac{p = 8 M_{\max}}{l^2}$
m	mt	t	t/m	m	mt	t	t/m	m	mt	t	t/m
1,0	5,00		40,00	15	243,9		8,672	60	2900		6,444
1,2	6,00	5,00	33,333	16	270,0	26,1	8,438	62	3063	81,5	6,375
1,4	7,00	5,00	28,571	17	297,8	27,8	8,243	64	3232	84,5	6,313
1,6	8,00	5,00	25,000	18	327,0	29,2	8,074	66	3402	85,0	6,247
1,8	9,00	5,00	22,222	19	359,8	32,8	7,973	68	3575	86,5	6,185
		5,00				34,2				88,0	
2,0	10,00		20,00	20	394,0		7,88	70	3751		6,124
2,2	11,00	5,00	18,181	22	469,0	37,5	7,752	72	3927	88,0	6,069
2,4	12,00	5,00	16,666	24	550,5	40,8	7,645	74	4109	91,0	6,003
2,6	13,16	5,80	15,574	26	632,0	40,8	7,479	76	4295	93,0	5,949
2,8	15,01	9,25	15,316	28	728,2	48,1	7,431	78	4484	94,5	5,896
		9,30				52,1				95,0	
3,0	16,88		15,004	30	832,3		7,398	80	4674		5,843
3,2	18,76	9,40	14,656	32	939,2	53,5	7,338	82	4868	97,0	5,792
		9,50				55,4				97,5	
3,5	21,61	13,8	14,113	34	1050	57,5	7,266	84	5063	100	5,740
4,0	28,50	14,2	14,250	36	1165	60,5	7,191	86	5263	101	5,693
4,5	35,63		14,076	38	1286		7,125	88	5464		5,645
		14,2				65,0				103	
5,0	42,75		13,680	40	1416		7,08	90	5669		5,599
6	57,00	14,3	12,666	42	1552	68,0	7,038	92	5876	104	5,553
7	73,45	16,4	11,992	44	1689	68,5	6,979	94	6089	107	5,512
8	93,50	20,1	11,687	46	1832	71,5	6,926	96	6303	107	5,471
9	114,7	21,2	11,329	48	1976	72,0	6,861	98	6520	109	5,431
		21,2				73,5				110	
10	135,9		10,872	50	2123		6,794	100	6740		5,392
11	157,1	21,2	10,387	52	2273	75,0	6,724	110	7918	118	5,235
12	178,4	21,3	9,911	54	2423	75,0	6,647	120	9176	126	5,097
		21,3				77,0				134	
13	199,7	21,3	9,453	56	2577	80,0	6,574	130	10520	144	4,979
14	221,6	22,9	9,045	58	2737		6,508	140	11965	155	4,883
15	243,9		8,672	60	2900	81,5	6,444	150	13510		4,803

und setzt man ferner

$$\sum_{1}^n P c = \mathfrak{E}_n,$$

so ist der Auflagerdruck $A = Q_m = \frac{1}{l} (\mathfrak{P}_n b_n + \mathfrak{E}_n)$.

Die nachstehende Tafel liefert die Werte \mathfrak{P}_n und \mathfrak{E}_n , mit deren Hilfe sich die Berechnung von Q_m sehr einfach gestaltet.

Die ersten vier Zeilen sind nicht für den Haupt-Lastenzug berechnet, sondern nach der für die Belastung durch eine kleinere Anzahl von Achsen geltenden Vorschrift. Es ist also gesetzt worden

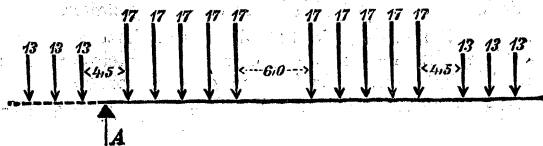
$$\mathfrak{P}_1 = 20 \text{ t}, \quad \mathfrak{P}_2 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ t}, \quad \mathfrak{P}_3 = 3 \cdot 19 = 57 \text{ t}, \quad \mathfrak{P}_4 = 4 \cdot 18 = 72 \text{ t},$$

n	c_1	P_n	Σ_n	n	c_1	P_n	Σ_n
1	0,0	20	0	31	76,5	443	19389
2	1,5	40	30	32	79,5	456	20718
3	3,0	57	85,5	33	82,5	469	22086
4	4,5	72	162	34	85,5	482	23493
5	6,0	85	255	35	88,5	495	24939
6	10,5	98	637,5	36	91,5	508	26424
7	12,0	111	784,5	37	94,5	521	27948
8	13,5	124	951	38	97,5	534	29511
9	18,0	141	1509	39	100,5	547	31113
10	19,5	158	1720,5	40	103,5	560	32754
11	21,0	175	1957,5	41	106,5	573	34434
12	22,5	192	2220	42	109,5	586	36153
13	24,0	209	2508	43	112,5	599	37911
14	28,5	222	3448,5	44	115,5	612	39708
15	30,0	235	3781,5	45	118,5	625	41544
16	31,5	248	4134	46	121,5	638	43419
17	34,5	261	4878	47	124,5	651	45333
18	37,5	274	5661	48	127,5	664	47286
19	40,5	287	6483	49	130,5	677	49278
20	43,5	300	7344	50	133,5	690	51309
21	46,5	313	8244	51	136,5	703	53379
22	49,5	326	9183	52	139,5	716	55488
23	52,5	339	10161	53	142,5	729	57636
24	55,5	352	11178	54	145,5	742	59823
25	58,5	365	12234	55	148,5	755	62049
26	61,5	378	13329	56	151,5	768	64314
27	64,5	391	14463	57	154,5	781	66618
28	67,5	404	15636	58	157,5	794	68961
29	70,5	417	16848	59	160,5	807	71343
30	73,5	430	18099	60	163,5	820	73764

und für diese schwereren Lasten sind auch die Momente Σ_n berechnet worden.

Bei gewissen Stützweiten kann es vorkommen, daß für Querschnitte in der Nähe des linken Auflagers die größte Querkraft entsteht, wenn die erste Maschine rückwärts fährt und der Tender die Brücke bereits verlassen hat (Abb. 8). Es gilt dann die folgende Tafel, deren fünf

Abb. 8.



erste Zeilen mit denen der vorhergehenden Tafel übereinstimmen. Sobald $b_1 < 17,27$ und $> 33,23$ m ist, liefert die erste Tafel stets den größeren Stützenwiderstand A.

n	c_1	P_n	S_n	n	c_1	P_n	S_n
1	0	20	0	9	16,5	153	1300,5
2	1,5	40	30	10	18,0	170	1530,5
3	3,0	57	85	11	22,5	183	2295,0
4	4,5	72	162	12	24,0	196	2569,5
5	6,0	85	255	13	25,5	209	2863,5
6	12,0	102	765	14	28,5	222	3490,5
7	13,5	119	918	15	31,5	235	4156,5
8	15,0	136	1096,5	16	34,5	248	4861,5

d. Winddruck.

Der Winddruck ist bei belasteter Brücke mit 150 kg/qm und bei unbelasteter Brücke, sofern dieser Fall für die Standsicherheit in Betracht kommt, mit 250 kg/qm in Rechnung zu stellen.

Die Angriffsfläche der Brücke ist nach den wirklichen Abmessungen der Teile schätzungsweise zu bestimmen; die des Eisenbahnzuges ist als ein Rechteck anzusehen, dessen Höhe von Schienenoberkante an gerechnet 3 m beträgt.*)

Bei Brücken mit oben liegender Fahrbahn und mit nur einem Windverbande in der Ebene des Untergrundes ist die durch den Wind hervorgebrachte Vergrößerung der lotrechten Belastung des einen Hauptträgers zu berücksichtigen, sobald sie den Wert von 10 vH der Belastung durch Eigengewicht und Verkehr überschreitet.

e. Andere wagerechte Kräfte.

Bei Brücken, die in Krümmungen liegen, ist der Einfluss der **Fliehkraft** und der etwaigen Besonderheiten in der Anordnung der Fahrbahn oder der Lage der ganzen Brücke zu berücksichtigen, sofern dieser Einfluss nicht etwa als zu geringfügig außer acht gelassen werden kann. Der Schwerpunkt der Fahrzeuge ist in rd. 1,5 m Höhe über Schienenoberkante anzunehmen.**)

Bei Brücken in geneigten Strecken oder vor Bahnhöfen ist u. Umst. die Wirkung der **Bremskräfte** auf die Fahrbahnteile, die Lager und die angrenzenden Hauptträger Teile zu beachten. Eine weitergehende

*) Die Windangriffsflächen des Hauptträgers im Windschatten werden gewöhnlich mit 50 vH derjenigen des zuerst vom Winde getroffenen Hauptträgers in Rechnung gesetzt. Es empfiehlt sich aber, auf der Leeseite die gleiche Windangriffsfläche anzunehmen wie auf der Luvseite.

**) Man führt die Fliehkraft als eine gleichmäßig verteilte, 1,5 m über S. O. angreifende Belastung von der Größe $\frac{pv^2}{gr}$ t/m ein, worin v die Zuggeschwindigkeit in m/sek., r der Krümmungsradius in m, $g = 9,81$ und p der Belastungsgleichwert der Brücke in t/m ist.

Berücksichtigung dieser Kräfte kann bei Brücken auf eisernen Pfeilern notwendig werden.)*

Als Grenzen der **Wärmeschwankungen** sind -25° und $+45^{\circ}$ C anzunehmen. Also: $t = \pm 35^{\circ}$ C.

7. Zulässige Beanspruchungen für Brücken der Klasse Ia.

1. Glieder der Haupt- und Fahrbahnträger.

a) Hauptträger.

Stützweite bis m	Zulässige Beanspruchung der Glieder der Hauptträger				Zulässige Beanspruchung der Niete in den Gliedern der Hauptträger	
	ohne Rücksicht auf Winddruck		mit Rücksicht auf Winddruck		auf Abscheren	auf Lochleibungsdruck
	Flufseisen kg/qcm	Schweißseisen kg/qcm	Flufseisen kg/qcm	Schweißseisen kg/qcm		
10	800	750	1000	900	750	1500
20	850	765	1000	900	765	1530
40	900	810	1050	945	810	1620
80	950	855	1100	990	855	1710
120	1000	900	1150	1035	900	1800
160	1050	945	1200	1080	945	1890
200	1100	990	1250	1125	990	1980

b) Fahrbahn.

Bauart	Zulässige Beanspruchung der Längs- u. Querträger		Zulässige Beanspruchung der Anschlusniete	
	Flufseisen kg/qcm	Schweißseisen kg/qcm	auf Abscheren kg/qcm	auf Lochleibungsdruck kg/qcm
Schotter- oder Kiesbett	800	750	750	1500
Schienen liegen mittels Querschwellen auf den Längsträgern	750	700	700	1400
Schienen liegen unmittelbar oder mittels eiserner Unterlagsplatten auf den Längsträgern oder bei fehlenden Längsträgern auf den Querträgern . .	700	650	650	1300

*) Die Bremskraft setzt man in der Regel gleich $\frac{1}{7}$ des gebremsten Zuggewichtes.

Bei der Querschnittsermittlung empfiehlt es sich, mit Spannungswerten zu rechnen, die für die betreffende Stützweite geradlinig zwischen die angeführten Zahlen eingeschaltet sind. Die Querschnitte der Gegendiagonalen sind (ebenso wie die Zahl ihrer Anschlusniete) ohne besondere Berechnung nach den Ergebnissen für die beiden Diagonalen des Mittelfeldes oder für die Hauptdiagonalen der etwa vorhandenen beiden Mittelfelder zu bemessen.

In bezug auf die Druckspannungen sind die gleichen Zahlen anzuwenden, wie bei den Zuggliedern. Außerdem ist für die Druckglieder nach der Eulerschen Formel (s. I. Bd., Knickfestigkeit, [Befestigungsfall 2]) eine fünffache Sicherheit gegen Knicken nachzuweisen.

2. Glieder der Wind- und Eckverbände.

Die Beanspruchungen dürfen die unter 1. a. für die Hauptglieder angegebenen Werte erreichen, jedoch mit der Einschränkung, daß bei den Windverbänden Flacheisen mit einem geringeren Querschnitte als 80.10 mm und bei den Eckverbänden schwächere Winkleisen als 70.70.10 mm zu vermeiden sind.

Die Eckverbände sind stets, die Windverbände, soweit zugänglich, aus steifen Stäben zu bilden. Für solche Stäbe genügt der Nachweis einer nur zweifachen Knicksicherheit, wenn sie paarweise angeordnet und so bemessen und angeschlossen sind, daß der auf Zug beanspruchte Stab bei etwaigem Ausbiegen des Gegenstabes die zu übertragende Kraft allein aufnehmen kann. Als Knicklänge ist bei genügender Verbindung der Stäbe in ihrem Kreuzungspunkte die halbe Stäblänge anzunehmen.

3. Nietverbindungen.

Als Scherspannung sind für die zur Verbindung von Hauptträgerteilen dienenden Niete die unter 1. a. festgesetzten Werte zulässig. Der Lochleibungsdruck darf höchstens den **doppelten** Wert der Scherspannung erreichen. Dasselbe gilt für die Niete in den Wind- und Eckverbänden. Jeder Anschluß eines zur Uebertragung wesentlicher Kräfte dienenden Stabes muß bei Flacheisen mindestens zwei, bei Winkleisen mindestens drei Niete enthalten.

Für die zum Anschlusse der Längsträger an die Querträger und der Querträger an die Hauptträger dienenden Niete sind die Spannungen nach 1. b. zu wählen.

4. Art der Berechnung.

Die durch die Steifigkeit der Knotenpunkte und durch den festen Anschluß der Längsträger an die Querträger und der letzteren an die Hauptträger hervorgerufenen Nebenspannungen brauchen in der Regel nicht in Rechnung gestellt zu werden. Wo dies jedoch für nötig gehalten wird, ist zu prüfen, ob und in welchem Umfange eine Erhöhung der festgesetzten Spannungsgrenzen zulässig erscheint.

Im übrigen wird die Wahl der Rechnungsverfahren und die Art der Querschnittsermittlung freigelassen mit der Maßgabe, daß nicht die erforderlichen und wirklich angewendeten Querschnitte und Niet-

zahlen gegenüberzustellen, sondern nur die in den letzteren auftretenden Spannungen (tunlichst in Tafelform oder durch Einschreiben in eine Trägerskizze) anzugeben sind.)*

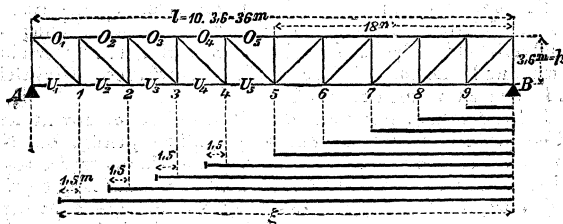
Bei den Ausrechnungen reicht im allgemeinen ein Genauigkeitsgrad von etwa $\frac{1}{2} \text{ vH}$ aus, der mit dem Rechenschieber zu erreichen ist.

7. Zahlenbeispiel für die Benutzung der Tafeln.**)

Berechnung der Querkräfte und Gurtspannkkräfte für einen Parallelträger von 36 m Stützweite und 3,6 m Feldweite (Abb. 9).

a) Querkräfte. Zur Ermittlung des größten Q am Knotenpunkt m muß der von B nach A vorrückende Eisenbahnzug die Grundstellung überschreiten, sobald $\mathfrak{P}_n > \mathfrak{P}_1 \frac{l}{\lambda}$ wird. Da nun $\mathfrak{P}_1 \frac{l}{\lambda} = 17 \cdot 10 = 170 \text{ t}$ ist, so lehrt ein Blick auf die Tafel

Abb. 9.



S. 74, daß \mathfrak{P}_n erst bei einer Zuglänge von 21,0 m größer als 170 t wird. Für die Felder 5 bis 9 sind also die Grundstellungen maßgebend; in den anderen entsteht Q_{\max} , wenn die zweite Achse an dem das Feld rechts begrenzenden Knotenpunkte liegt. Im linken Knotenpunkte des Feldes greift dann die Last $17 \cdot \frac{1,5}{3,6} = 7 \text{ t}$ an. Den

Zug noch weiter vorzuziehen, ist nirgends nötig, weil \mathfrak{P}_n den Wert $(P_1 + P_2) \frac{l}{\lambda} = 340 \text{ t}$ erst bei einer Zuglänge von 52,5 m überschreitet. Nach dieser Entscheidung über die Zugstellungen, die in Abb. 9 durch kräftige Linien angedeutet worden sind, wurde die Berechnung der max. Q in der folgenden Tafel durchgeführt. Der Abstand der ersten Last vom rechten Auflager ist mit ξ bezeichnet worden.

Feld	ξ m	c_1 m	$b_n = \xi - c_1$ m	\mathfrak{P}_n t	\mathfrak{E}_n mt	$A = \frac{1}{86} (\mathfrak{P}_n b_n + \mathfrak{E}_n)$ t	max. $Q = A - 7,0$ t
1	33,9	31,5	2,4	248	4134	131	124
2	30,3	30,0	0,3	235	3782	107	100
3	26,7	24,0	2,7	209	2508	85	78
4	23,1	22,5	0,6	192	2220	65	58
5	18,0	18,0	0	141	1509	$A = 42 = \max. Q$	
6	14,4	13,5	0,9	124	951	30	
7	10,8	10,5	0,3	98	638	19	
8	7,2	6,0	1,2	85	255	10	
9	3,6	3,0	0,6	57	86	3,3	

*) Vgl. „Hilfswerte für das Entwerfen und die Berechnung von Brücken mit eisernem Überbau“ von F. Dirksen, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.

**) In diesem Beispiel handelt es sich nur um den Einfluß der Verkehrslast.

b) Gurtspannkkräfte. Das größte Moment ist nach Tafel 2, S. 73 max. $M = 1165$ mt. Man erhält $-O_5 = \frac{M_5}{h} = \frac{1165}{3,6} = 324$ t und mit Hilfe der Tafel 1, S. 72

$$\text{für } \frac{x}{l} = 0,1: -O_1 = +U_2 = 0,403 \cdot 324 = 131 \text{ t}$$

$$0,2: -O_2 = +U_3 = 0,703 \cdot 324 = 228 \text{ t}$$

$$0,3: -O_3 = +U_4 = 0,899 \cdot 324 = 291 \text{ t}$$

$$0,4: -O_4 = +U_5 = 0,992 \cdot 324 = 321 \text{ t}$$

U_1 ist gleich null.

g) Belastungsvorschriften für die Schutzgebietsbahnen.*)

α) Lastenzug.

Es ist ein Zug aus zwei Lokomotiven nach Abb. 10 mit unbeschränkter Anzahl einseitig angehängter Tender oder Wagen nach Abb. 11 anzunehmen. Bei der Berechnung kleiner Brücken und der Quer- und Schwellenträger sind, soweit sich hierdurch größere Beanspruchungen ergeben als durch die oben vorgeschriebenen Lasten, folgende Belastungen anzunehmen:

- 1 Achse mit 13 t,
- oder 2 Achsen mit je 13 t,
- „ 3 „ „ „ 12 „,
- „ 4 „ „ „ 11 „.

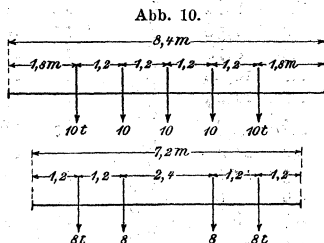


Abb. 11.

β. Momente und Querkkräfte.

Für einfache Balken können die größten Biegemomente und Querkkräfte mit Hilfe der nachstehenden Tabellen berechnet werden.

Tafel 1 gibt die Werte M_{\max} in mt für ein Gleis an.

Für zwischenliegende Stützweiten ist geradlinig einzuschalten, wozu die Werte von $\frac{A M_{\max}}{A l}$ benutzt werden. Zur Berechnung der größten Momente M_x an den Stellen x des Balkens dient die Tafel 2.

Für nicht angegebene Werte $\frac{x}{l}$ ist geradlinig einzuschalten, wozu die Werte von $A \frac{M_x}{M_{\max}}: A \frac{x}{l}$ benutzt werden.

Unter der Annahme unmittelbarer Belastung erhält man die größte Querkraft Q_m (vgl. Abb. 7), wenn der Lastenzug bis zum Punkte m vorgerückt ist. Es wird mit den in Abb. 7 eingetragenen Bezeichnungen:

$$A = Q_m = \frac{1}{l} (\Sigma P c + b_n \Sigma P).$$

In der Tafel 3 sind die Werte $\Sigma P c$ und ΣP für die Belastungslängen b_1 zusammengestellt worden. Die Länge c_1 stimmt im all-

*) Vorschriften für das Entwerfen der Brücken mit eisernem Ueberbau auf Schutzgebietsbahnen; Berlin 1908, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

Tafel 1.

l	M_{\max}	$\frac{\Delta M_{\max}}{\Delta l}$	l	M_{\max}	$\frac{\Delta M_{\max}}{\Delta l}$	l	M_{\max}	$\frac{\Delta M_{\max}}{\Delta l}$
m	mt	t	m	mt	t	m	mt	t
1,0	3,25		5	30,6		20	304,1	
1,2	3,90	3,25	6	40,26	9,66	22	362,6	29,25
1,4	4,55	3,25	7	51,50	11,24	24	426	31,7
1,6	5,20	3,25	8	64,00	12,5	26	492	33,0
1,8	5,85	3,25	9	76,50	12,5	28	559,7	33,85
2,0	6,50	3,25	10	89,00	12,5	30	633,7	37,0
2,2	7,56	5,3	11	102,63	13,63	32	708,3	37,3
2,4	8,78	6,1	12	117,7	17,07	34	787,5	39,6
2,6	10,00	6,1	13	134,2	16,5	36	869,2	40,85
2,8	11,24	6,2	14	152,3	18,1	38	953,8	42,3
3,0	12,6	6,8	15	172,8	20,5	40	1044	45,0
3,2	14,4	9,0	16	195,1	22,8	42	1134	45,0
3,5	17,1	9,0	17	220,0	24,9	44	1230	48,0
4,0	21,6	9,0	18	246,6	26,6	46	1328	49,0
4,5	26,1	9,0	19	275,3	28,7	48	1430	51,0
5,0	30,6	9,0	20	304,1	28,8	50	1537	53,5

Tafel 2.

$\frac{x}{l}$	$\frac{M_x}{M_{\max}}$	$\frac{\Delta M_x}{\Delta \frac{x}{l}}$	$\frac{x}{l}$	$\frac{M_x}{M_{\max}}$	$\frac{\Delta M_x}{\Delta \frac{x}{l}}$	$\frac{x}{l}$	$\frac{M_x}{M_{\max}}$	$\frac{\Delta M_x}{\Delta \frac{x}{l}}$
0,00	0,0		0,16	0,595	2,80	0,32	0,926	1,10
0,02	0,089	4,45	0,18	0,651	2,60	0,34	0,948	0,95
0,04	0,174	4,25	0,20	0,703	2,35	0,36	0,967	0,70
0,06	0,254	4,00	0,22	0,750	2,15	0,38	0,981	0,55
0,08	0,331	3,85	0,24	0,793	2,00	0,40	0,992	0,30
0,10	0,403	3,60	0,26	0,833	1,75	0,42	0,998	0,10
		3,40	0,28	0,868	1,55	0,44	1,0	
0,12	0,471	3,20	0,30	0,899	1,35	0,46	1,0	
0,14	0,535	3,00	0,32	0,926		0,48	1,0	
0,16	0,595					0,50	1,0	

gemeinen mit der ersten in der Spalte „Belastungslänge“ stehenden Zahl überein. Bei den drei Werten von b_1 , wo dies nicht der Fall ist, sind die zugehörigen Werte von c_1 in Klammern gesetzt.

Tafel 3.

Belastungs- länge b_1	$\Sigma P \cdot c$	ΣP	Belastungs- länge b_1	$\Sigma P \cdot c$	ΣP
m	mt	t	m	mt	t
0,0 bis 1,2	0,0	13	24,6 bis 27	2001,6	148
1,2 „ 2,76	15,6	26	27 „ 28,2	2356,8	156
2,76 (2,4) „ 4,5	43,2	36	28,2 „ 30,6	2544,0	164
4,5 (3,6) „ 6,8	79,2	44	30,6 „ 31,8	2937,6	172
6,8 (4,8) „ 8,4	120	50	31,8 „ 34,2	3144,0	180
8,4 „ 9,6	300	60	34,2 „ 35,4	3576	188
9,6 „ 10,8	372	70	35,4 „ 37,8	3802	196
10,8 „ 12,0	456	80	37,8 „ 39	4272	204
12,0 „ 13,2	552	90	39 „ 41,4	4517	212
13,2 „ 16,2	660	100	41,4 „ 42,6	5026	220
16,2 „ 17,4	960	108	42,6 „ 45	5290	228
17,4 „ 19,8	1089,6	116	45 „ 46,2	5837	236
19,8 „ 21,0	1368,0	124	46,2 „ 48,6	6120	244
21,0 „ 23,4	1516,8	132	48,6 „ 49,8	6706	252
23,4 „ 24,6	1833,6	140	49,8 „ 52,2	7008	260

γ. Als **Temperaturgrenzen** sind in den Tropenkolonien $+10^0$ und $+70^0$ C, in Deutsch-Südwestafrika -10^0 und $+60^0$ C anzunehmen.

δ. Bezüglich der **zulässigen Beanspruchungen** s. S. 76.

Für Gußeisen und Flußstahlgufs sind folgende Spannungen zulässig:

	Druck	Zug
Gußeisen . . .	700	250 kg/qcm
Flußstahlgufs . .	1500	1200 „

Für Lager, bei denen die Berührung im unbelasteten Zustande in einer Linie oder in einem Punkte stattfindet, darf die Beanspruchung in der Berührungsstelle bei Gußeisen auf 4000, bei Flußstahlgufs auf 6500 kg/qcm steigen.

h. Belastungsvorschriften des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen.

Nach den in der Hauptversammlung des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen unter § 16a der technischen Vereinbarungen auf-

Abb. 12.

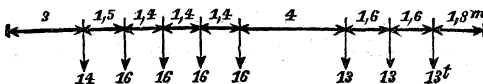
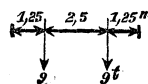


Abb. 13.



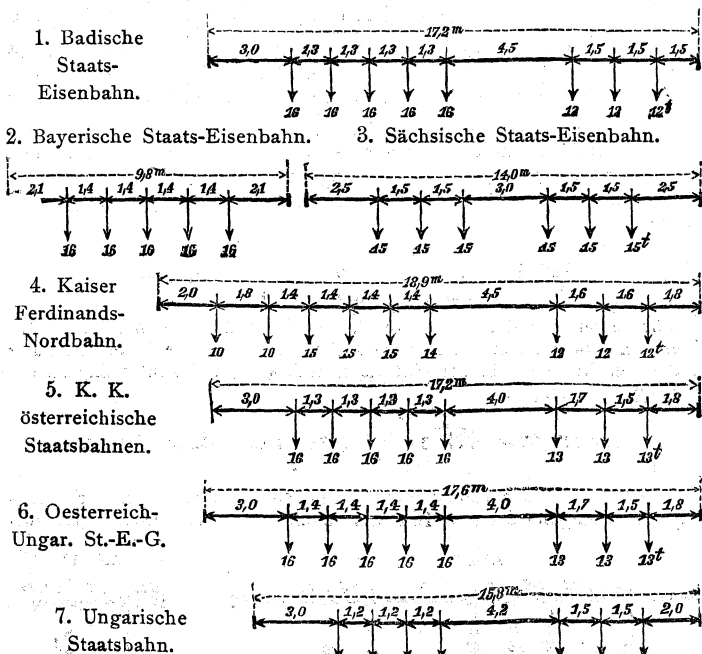
genommenen bindenden Bestimmungen muß die Tragfähigkeit neu zu bauender bzw. umzubauender Brücken mindestens einem Belastungszuge aus zwei Maschinen und beliebig vielen einseitig angehängten Wagen nach Abb. 12 u. 13 entsprechen.

Für kleinere Brücken sowie für die Berechnung der Quer- und Schwellenträger ist der Lastenzug Abb. 14 anzuwenden, wobei stets die an der ungünstigsten Stelle stehende Achslast (hier die zweite) auf 18 t zu erhöhen ist.

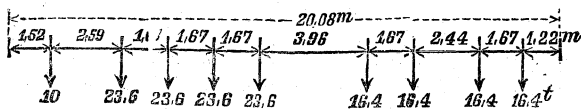
Die Vereinsverwaltungen sind durch vorstehende Bestimmung gezwungen, falls ihr Lastenzug geringere Beanspruchungen hervorruft als der oben angeführte, entweder den Lastenzug des Vereins zu übernehmen oder einen anderen aufzustellen, der in seiner Wirkungsweise dem vorstehenden mindestens gleichkommt.

1. Zusammenstellung verschiedener Gewichtsverteilungen für Lokomotiven und Tender.

Achslasten in t.



8. Pennsylvanische Eisenbahn-Ges. (Ver. Staaten von Nord-Amerika).



II. BRÜCKEN- UND DACHKONSTRUKTIONEN.

A. Der einfache Balken.

1. Querkkräfte und Biegemomente.

a. Unmittelbare gleichförmige Belastung.

Bedeutet (Abb. 15 bis 17):

A den Widerstand der linken Stütze,

B den Widerstand der rechten Stütze,

l die Stützweite,

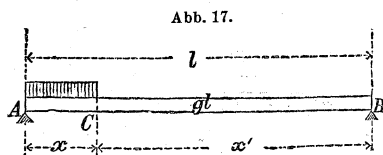
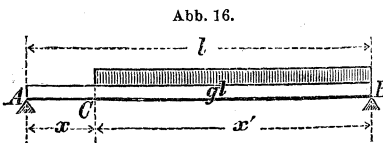
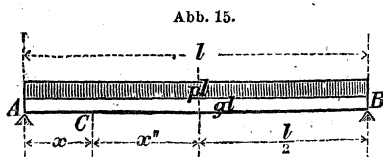
x und x' den Abstand eines Querschnittes C von A und von B ,

x'' den Abstand des Querschnittes C von der Trägermitte,

g die bleibende gleichförmige Belastung für die Längeneinheit,

p die bewegliche gleichförmige Belastung für die Längeneinheit,

$g + p = q$ die gesamte gleichförmige Belastung für die Längeneinheit,



so werden die Stützenmomente

$$A_{\max} = B_{\max} = \frac{ql}{2}, \quad \dots \dots \dots 1)$$

die Biegemomente für den Querschnitt C :

$$M_{\max} = \frac{qxx'}{2} \quad \text{und} \quad M_{\min} = \frac{gxx'}{2} \quad \dots \dots \dots 2)$$

und die Querkräfte für den Querschnitt C :

$$Q_{\max} = gx'' + \frac{px^2}{2l} \quad \text{und} \quad Q_{\min} = gx'' - \frac{px^2}{2l} \quad . \quad . \quad 3)$$

M_{\max} entsteht bei voller Belastung (Abb. 15), Q_{\max} bei der Laststellung nach Abb. 16 und Q_{\min} bei derjenigen nach Abb. 17.

b. Mittelbare gleichförmige Belastung.

Bei eisernen Brücken wirkt die Belastung in der Regel zunächst auf die Längsträger und wird dann durch Querträger auf die Hauptträger übertragen (Abb. 18). Die Reaktionen sind

$$A_{\max} = B_{\max} = \frac{ql}{2} \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

Die **Biegemomente** für den m^{ten} Knotenpunkt:

$$\left. \begin{aligned} \max M_m &= \frac{qx_m x'_m}{2} \\ \min M_m &= \frac{gx_m x'_m}{2} \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Für einen Querschnitt C im m^{ten} Felde ist, wenn

$$\xi + \xi' = \lambda_m: \\ M = \frac{\xi}{\lambda_m} M_m + \frac{\xi'}{\lambda_m} M_{m-1}.$$

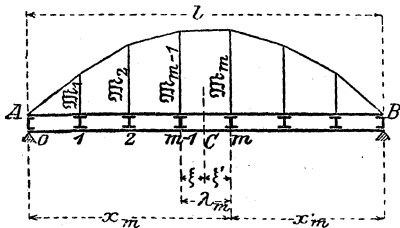
Hiernach ist die **Momentenkurve** zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knotenpunkten eine Gerade (Abb. 18).

Die Querkräfte im m^{ten} Felde werden mit der Bezeichnung x''_m für den Abstand der Mitte des Feldes von der Trägermitte

$$\left. \begin{aligned} \max Q_m &= gx''_m + \frac{p}{2(l-\lambda_m)} x'^2_m \\ \text{und} \quad \min Q_m &= gx''_m - \frac{p}{2(l-\lambda_m)} x'^2_{m-1} \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

c. Unmittelbare Belastung durch bewegliche Einzellasten.

Abb. 18.



An der Stelle C des Balkens entstehen die Querkräfte Q_{\max} , wenn die Lasten nur rechts vom Schnitt (Abb. 19), Q_{\min} , wenn sie nur links davon stehen (Abb. 20).

$$\left. \begin{aligned} \max Q_x &= A_x = \frac{\Sigma P b}{l} \\ &= \frac{\Sigma_n + P_n b_n}{l} \end{aligned} \right\} 7)$$

Bei festen Lastenzügen können die Werte leicht gerechnet werden, wenn die Achsenzahl n , $\Sigma_n = \sum_{i=1}^n P_i$, der Abstand c_m der Last P_m von der letzten Last P_n und $\Sigma_n = \sum_{i=1}^n P_i c_i$ tabellarisch zusammengestellt

werden; b_n ist der Abstand der n ten Last vom Auflager B . Für den preussischen Lastenzug sind diese Zahlen in den Tabellen auf S. 74 u. 75 enthalten. Analog ist

Abb. 19.

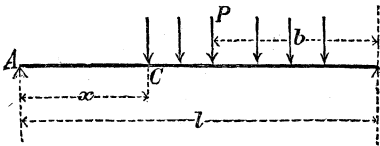
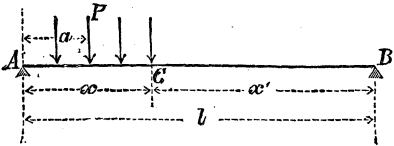


Abb. 20.



$$\min Q_x = -B_x = -\frac{\sum P a}{l} \dots \dots \dots 8)$$

Wird $x=0$, erhält man den größten Stützdruck A_{\max} .

Zur graphischen Bestimmung der größten Querkräfte dient das A-Polygon (Abb. 21). Man schiebt den Zug von A bis B vor, trägt

Abb. 21.

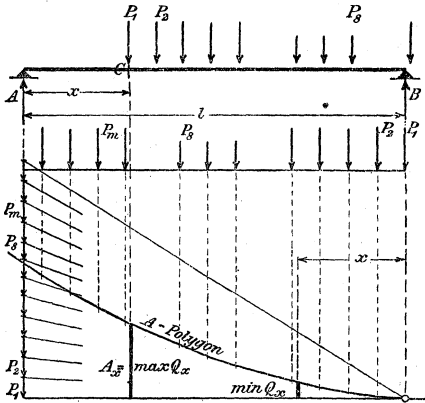
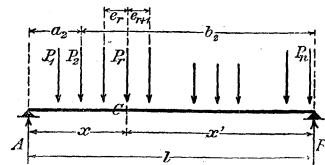


Abb. 22.



unter A den Kräftezug $P_1, P_2, \dots P_m \dots$ von unten nach oben auf und zeichnet dazu das A-Polygon als Seillinie mit der Polweite l . Unter C wird $A_x = \max Q_x$ im Kräftemaßstab abgelesen. $\min Q_x$ würde sich aus dem Spiegelbild des A-Polygons ergeben; trägt man x von

B aus ab, läßt sich $\min Q_x$ ebenfalls im A-Polygon messen. Sein Wert ist negativ.

Die größten Momente entstehen bei Vollbelastung des Balkens (Abb. 22). Das Biegemoment an der Stelle C ist

$$M_x = Ax - \sum_1^r P(x-a) = Ax - \mathfrak{E}_r, \dots \dots 9)$$

worin A und \mathfrak{E}_r sich aus den oben erwähnten Tafeln (S. 74 u. 75) entnehmen lassen. Ueber C muß eine möglichst schwere Last (Lokomotivachse) stehen, damit $\max M_x$ erzeugt wird; das Kriterium für die ungünstigste Laststellung ist bei einer kleinen Verschiebung

$$\text{nach links } \frac{\mathfrak{P}_n}{\mathfrak{P}_r} < \frac{l}{x}, \quad \text{nach rechts } \frac{\mathfrak{P}_n}{\mathfrak{P}_{r-1}} > \frac{l}{x}.$$

Die Querkräfte werden für das m^{te} Feld von der Weite λ_m :

$$\left. \begin{aligned} \max Q_m &= \frac{\Sigma P b}{l} - \frac{\Sigma P' b'}{\lambda_m} \text{ und} \\ \min Q_m &= -\frac{\Sigma P a}{l} + \frac{\Sigma P' a'}{\lambda_m} \end{aligned} \right\} \dots 10)$$

sie entstehen bei den Laststellungen der Abb. 24.

Der Lastenzug muß von B aus (bzw. von A aus) bis in das m^{te} Feld vorrücken.

Die Ausdrücke $\Sigma P b$ und $\Sigma P a$ beziehen sich auf sämtliche Lasten, die Ausdrücke $\Sigma P' b'$ und $\Sigma P' a'$ nur auf die im m^{ten} Felde gelegenen Lasten. b' und a' sind die Abstände der Lasten P' von den Knotenpunkten m und $m-1$.

In der Regel genügt es, bei Berechnung von $\max Q_m$ die beiden Fälle zu untersuchen: 1) die erste Last steht über m , und 2) die zweite Last steht über m . Stellt man die erste Last P_1 über m und findet

$$\Sigma P : P_1 < l : \lambda_m,$$

so ist diese Stellung die gefährlichste; im Gegenfalle muß die zweite Last über m stehen und untersucht werden, ob

$$\Sigma P : (P_1 + P_2) < l : \lambda_m.$$

Ebenso ist bei Berechnung von $\min Q_m$ zu verfahren.

Wenn der Lastenzug von rechts her vorgeschoben wird, so ist die Notwendigkeit des Ueberschreitens des Querträgers m für den Parallelträger bei A am grössten, für den Parabelträger hingegen in der Nähe von B .

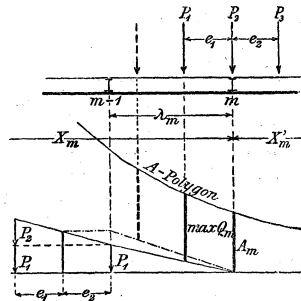
Benutzt man das A -Polygon, wird $\max Q_m$ nach Abb. 25 gemessen, falls dieser Wert gröfser ist als A_m . Bei grofsen Feldweiten kann es vorkommen, dafs die dritte Last über m stehen muß; unter $(m-1)$ ist sodann an Stelle von P_1 der (links davon ermittelte) Wert

$$P_1 + P_2 \frac{e_2}{e_1 + e_2} \text{ aufzutragen und}$$

die zugehörige Ordinate unter P_1 abzulesen.

Für den preufsischen Lastenzug rechnet man die Grenzwerte für die Momente und Querkräfte nach den Tafeln auf S. 72 bis 75.

Abb. 25.



2. Spannkkräfte im einfachen Fachwerkbalken.

a. Schnittverfahren nach A. Ritter.*)

(Verfahren der statischen Momente.)

Diese zeichnerisch-rechnerische Art der Bestimmung der in den Stäben (Gurten, Schrägen und Lotrechten) eines Fachwerkträgers auftretenden Spannkkräfte ist begründet durch den Satz:

*) Vgl. A. Ritter, Eiserne Dach- und Brücken-Konstruktionen, 6. Aufl.; Leipzig 1904, A. Kröner.

Im Gleichgewichtszustande muß für einen durch einen Schnitt abgetrennten Systemteil die algebraische Summe der Momente der äußeren (angreifenden) und der inneren (widerstehenden) Kräfte in bezug auf einen beliebigen Drehpunkt (Pol) gleich null sein.

Auf einen Fachwerkträger (Abb. 26), dessen Stützweite $= l$ ist, und der durch Aneinanderfügen von Dreiecken so entstanden gedacht

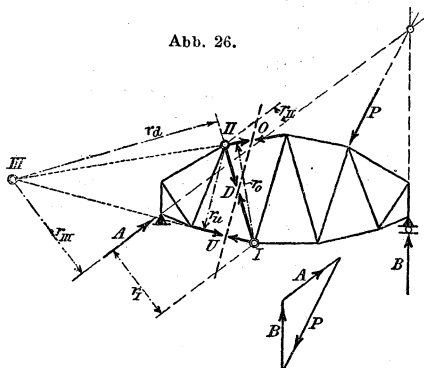


Abb. 26.

werden kann, daß jedes Dreieck mit dem vorhergehenden und nachfolgenden je eine Seite gemeinsam hat, wirkt eine irgendwie gerichtete Last P . In den Knotenpunkten werden reibungslose Gelenke vorausgesetzt. Die in Wirklichkeit ausgeführte feste Vernietung der Knotenpunkte erzeugt Nebenspannungen, die indes bei den üblichen Trägerformen nicht besonders untersucht, sondern bei der Dimensionierung

durch entsprechend niedrige Spannungszahlen berücksichtigt werden.

Die Auflagerreaktionen werden durch Zerlegung von P nach A und B gefunden (Abb. 26). Zur Berechnung der Stabkräfte O, U, D führt man den sog. **Ritterschen Schnitt**, der nur 3 nicht durch einen Punkt gehende Stäbe trifft. Die Spannkraften der durchschnittenen Stäbe werden vorläufig als Zugkräfte angenommen. Dann liefert die Gleichgewichtsbedingung für die am linken Trägerstück wirkenden Kräfte in bezug auf den Schnittpunkt I von U und D als Drehpunkt

$$\sum M_I = Ar_I + Or_o = 0$$

und

$$O = -\frac{A \cdot r_I}{r_o};$$

das negative Vorzeichen besagt: in O herrscht Druck.

Ferner ergibt sich aus der Momentengleichung für Drehpunkt II (Schnittpunkt von O und D):

$$\sum M_{II} = Ar_{II} + Ur_u = 0$$

$$U = -\frac{Ar_{II}}{r_u} \text{ (Druck),}$$

und für Drehpunkt III (Schnittpunkt von O und U)

$$\sum M_{III} = Ar_{III} - Dr_d = 0$$

$$D = \frac{Ar_{III}}{r_d} \text{ (Zug).}$$

Sind die Gurtstäbe O und U parallel, dann projiziert man alle Kräfte auf eine zur Richtung der parallelen Kräfte Senkrechte Y und

schreibe die Gleichung $\Sigma Y = 0$ an, in der nur D als Unbekannte vorkommt.

Dieses Verfahren ist bei beliebig gerichteten Kräften zur Berechnung aller statisch bestimmten Fachwerkträger anwendbar und gestattet, den Einfluß jeder Belastung durch ein einzelnes Glied von leicht erkennbaren Vorzeichen darzustellen; man ersieht sofort, welche der Lasten die fragliche Spannkraft in positivem oder in negativem Sinne beeinflusst.

In der Regel hat man es nur mit lotrecht wirkenden beweglichen Lasten zu tun. Dann entsteht stets Druck in den Stäben des Obergurts und Zug in denen des Untergurts, und zwar $\min O$ und $\max U$ bei Vollbelastung des Trägers. Die Grenzwerte der Füllungsglieder treten dagegen bei einseitiger Belastung bis zur Lastscheide E auf; siehe Abb. 27. Die **Konstruktion der Lastscheiden** für linkssteigende Diagonalen D^l und rechtssteigende D^r bei oben oder unten liegender Fahrbahn zeigt Abb. 27; gleiches gilt für die Vertikalen, die als vertikal aufgerichtete Diagonalen angesehen werden können. Liegt jedoch der Schnittpunkt III von O und U innerhalb der Stützweite des Balkens, dann tritt auch für den durchschnittenen Füllungsstab die größte Spannkraft bei Vollbelastung ein, und der Stab wird entweder nur gezogen oder nur gedrückt.

Bei Eisenbahnzügen wird [z. B. für $\max D^l$ bei unten angreifender Last (Abb. 27)]

in den meisten Fällen die Grundstellung ausreichen, d. h. das Verschieben der ersten Last P_1 von rechts her bis über den Knotenpunkt m . Findet man aber, daß

$$\Sigma P : P_1 > \xi : \xi',$$

dann muß der Zug um eine Achse vorrücken, Last P_2 also über m stehen. Wenn sich für diese Stellung

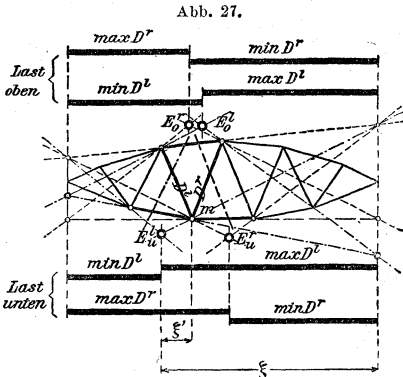
$$\Sigma P : (P_1 + P_2) > \xi : \xi'$$

ergibt, so ist die dritte Last über m zu stellen. Dasselbe gilt für lotrechte Stäbe.

b. Allgemeine Formeln für Dreieckssysteme.*)

α. Fachwerk mit Lotrechten. (Ständerfachwerk.)

Die Knotenpunkte des Fachwerks werden, vom linken Stützpunkt A



ausgehend, mit 0, 1, 2, ... $m-1$, m , $m+1$, ... bezeichnet (Abb. 28). Die in den Knotenpunkten angreifenden äußeren Kräfte (die Lasten) seien irgendwie gerichtet. Es bedeute:

h_m die Länge der m^{ten} Lotrechten,

λ_m die Feldweite,

O_m die Spannkraft im Obergurt,

U_m die Spannkraft im Untergurt,

D_m die Spannkraft in der m^{ten} Schrägen,

V_m die Spannkraft in der m^{ten} Lotrechten,

β_m den Neigungswinkel von O_m , nach oben positiv gezählt,

γ_m den Neigungswinkel von U_m , nach unten positiv gezählt,

φ_m den Neigungswinkel von D_m , nach unten positiv gezählt,

M_m^o das Angriffsmoment für den oberen Knotenpunkt m ,

M_m^u das Angriffsmoment für den unteren Knotenpunkt m

(falls nur lotrechte Lasten am Fachwerk angreifen, ist $M_m^o = M_m^u$).

Dann ist bei Fahrbahn oben und unten

$$\left. \begin{aligned} O_m &= -\frac{M_m^u}{h_m} \frac{1}{\cos \beta_m}, & U_m &= +\frac{M_{m-1}^o}{h_{m-1}} \frac{1}{\cos \gamma_m} \\ D_m &= \frac{1}{\cos \varphi_m} \left(\frac{M_m^o}{h_m} - \frac{M_{m-1}^o}{h_{m-1}} \right) = \frac{1}{\cos \varphi_m} \left(\frac{M_m^u}{h_m} - \frac{M_{m-1}^u}{h_{m-1}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ferner, falls die Lasten nur in den Knotenpunkten der oberen Gurtung angreifen,

$$V_m = \frac{M_{m-1}^o}{\lambda_m} - \frac{M_m^o h_m^l}{\lambda_m h_m} \dots \dots \dots (12)$$

und, falls die Lasten nur in den Knotenpunkten der unteren Gurtung angreifen,

$$V_m = -\frac{M_{m+1}^u}{\lambda_{m+1}} + \frac{M_m^u h_m^r}{\lambda_{m+1} h_m} \dots \dots \dots (13)$$

Die Bedeutung von h_m^l und h_m^r ist aus Abb. 29 ersichtlich.

Abb. 29.

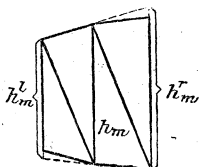


Abb. 28.

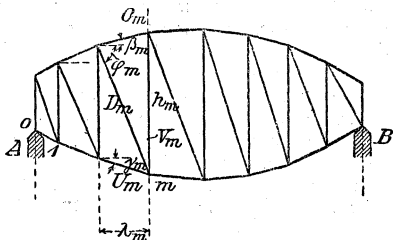
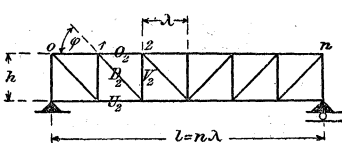


Abb. 30.



Für den Parallelträger z. B. (Abb. 30) wird bei lotrechten Lasten und gleichen Feldweiten λ :

$$\left. \begin{aligned} O_m &= -\frac{M_m}{h}, & U_m &= \frac{M_{m-1}}{h} = -O_{m-1} \\ D_m &= \frac{Q_m}{\sin \varphi} \\ V_m &= \begin{cases} -Q_{m+1} & \text{bei Fahrbahn unten} \\ -Q_m & \text{bei Fahrbahn oben} \end{cases} \end{aligned} \right\} \dots 14)$$

β. Fachwerk ohne Lotrechte. (Strebenfachwerk.)

Bedeutet (Abb. 31):

m die Ordnungsziffer eines Knotenpunktes der unteren Gurtung,

k die Ordnungsziffer eines Knotenpunktes der oberen Gurtung,

m' und k' die Schnittpunkte der Lotrechten durch m und k mit den gegenüberliegenden Gurtstäben (Abb. 32),

M_m, M'_m, M_k, M'_k die Angriffsmomente für die Punkte m, m', k, k' ,

O_m die Spannkraft in dem Gurtstabe, der m gegenüberliegt,

U_k die Spannkraft in dem Gurtstabe, der k gegenüberliegt,

D_m die Spannkraft in einer links ansteigenden, die Knotenpunkte m und $m-1$ verbindenden Schrägen,

D_{m+1} die Spannkraft in einer rechts ansteigenden, die Knotenpunkte m und $m+1$ verbindenden Schrägen,

β_m den Neigungswinkel von O_m gegen die Wagerechte,

γ_k den Neigungswinkel von U_k gegen die Wagerechte,

φ_m und φ_{m+1} die Neigungswinkel von D_m und D_{m+1} gegen die Wagerechte,

$h_m = mm'$ die Höhe des Fachwerkes an der Stelle m ,

$h_k = kk'$ die Höhe des Fachwerkes an der Stelle k ,

Abb. 31.

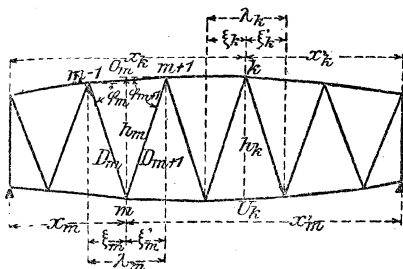
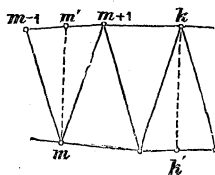


Abb. 32.



so ergibt sich

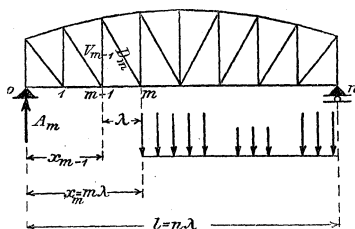
$$\left. \begin{aligned} O_m &= -\frac{M_m}{h_m} \frac{1}{\cos \beta_m} \\ U_k &= +\frac{M_k}{h_k} \frac{1}{\cos \gamma_k} \\ D_m &= \left(\frac{M_m}{h_m} - \frac{M'_{m-1}}{h_{m-1}} \right) \frac{1}{\cos \varphi_m} \\ &= \left(\frac{M'_m}{h_m} - \frac{M_{m-1}}{h_{m-1}} \right) \frac{1}{\cos \varphi_m} \\ D_{m+1} &= \left(\frac{M_m}{h_m} - \frac{M'_{m+1}}{h_{m+1}} \right) \frac{1}{\cos \varphi_{m+1}} \\ &= \left(\frac{M'_m}{h_m} - \frac{M_{m+1}}{h_{m+1}} \right) \frac{1}{\cos \varphi_{m+1}} \end{aligned} \right\} \dots 15)$$

Wenn alle äußeren Kräfte lotrecht sind, ist

$$M_m = M'_m \text{ und } M_k = M'_k.$$

Man beachte bei beweglicher Belastung: die zur Berechnung der größten Gurtkräfte dienenden Momente sind die Maximalmomente für die betreffenden Knotenpunkte infolge Vollbelastung; die zur Ermittlung der größten Spannkkräfte in den Füllungsgliedern dienenden entstehen bei der für den Stab in Frage kommenden ungünstigsten einseitigen Laststellung (Abb. 27).

Abb. 33.



Für Eisenbahnbrücken lassen sich die Tabellen auf S. 72 bis 74 und 80 u. 81 zu schneller und übersichtlicher Rechnung benutzen. Die Maximalmomente können leicht abgelesen werden; aus ihnen ergeben sich die größten Gurtkräfte. Die Füllungsstäbe werden wie folgt berechnet. A_m sei der linke Stützendruck, sobald der Eisenbahnzug von B aus bis zum Knotenpunkt m vorrückt (Abb. 33),

eine Laststellung, bei welcher $\max D_m$ und $\min V_{m-1}$ entstehen. Es wird

$$M_m = A_m x_m, \quad M_{m-1} = A_m x_{m-1},$$

$$\max D_m \cos \varphi_m = A_m \left(\frac{x_m}{h_m} - \frac{x_{m-1}}{h_{m-1}} \right);$$

bei konstanter Feldweite λ :

$$\max D_m \cos \varphi_m = A_m \lambda \left(\frac{m}{h_m} - \frac{m-1}{h_{m-1}} \right)$$

und mit Rücksicht auf Gl. 7

$$\max D_m \cos \varphi_m = \frac{\mathfrak{S}_n + \mathfrak{B}_n b_n}{n} \left(\frac{m}{h_m} - \frac{m-1}{h_{m-1}} \right) \dots 16)$$

worin n die Felderzahl des Balkens,
 m „ „ der Strecke x_m ,
 $m-1$ „ „ „ „ x_{m-1}
 bedeuten.

Ferner ist

$$\min V_{m-1} = A_m \left((m-1) \frac{h_{m-1}^r}{h_{m-1}} - m \right) \quad . . . \quad 17)$$

Im Falle oben liegender Fahrbahn wäre

$$\min V_{m-1} = A_m \left((m-2) - (m-1) \frac{h_{m-1}^l}{h_{m-1}} \right) \quad . \quad 18)$$

Ruht die zweite Last P_2 über dem Knoten m , die erste Last P_1 also im Felde, dann entsteht A_m^1 und

$$\max D_m \cos \varphi_m = A_m^1 \lambda \left(\frac{m}{h_m} - \frac{m-1}{h_{m-1}} \right) - \frac{P_1 e_1}{h_m}, \quad . \quad 19)$$

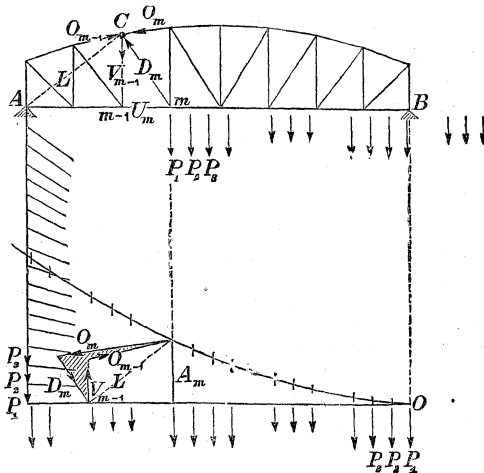
worin e_1 den Abstand zwischen P_1 und P_2 bezeichnet. Ähnliche Formeln sind für die übrigen Fälle leicht herzuleiten.

c. Zeichnerische Bestimmung der Spannkkräfte einfacher Fachwerkbalken infolge einer beweglichen Gruppe von Einzel-lasten (Eisenbahnzug).

Nach Aufzeichnung des A -Polygons (s. S. 85) kann A_m nach dem Culmannschen Verfahren nach den drei Richtungen O_m , D_m , U_m und O_{m-1} , V_{m-1} , U_{m-1} zerlegt werden (Abb. 34). Man verbinde den Stützpunkt A mit dem Knotenpunkte C durch die Hilfsgerade L , zerlege A_m nach den Richtungen L und U_m , sodann die Seitenkraft L nach den Richtungen O_m und D_m bzw. O_{m-1} und V_{m-1} . (S. a. I. Bd. 2. Abschnitt: Statik starrer Körper.

Abb. 34.

In dem durch Schraffur hervorgehobenen Kräfteplan für den Knotenpunkt C sind die Strecken D_m und V_{m-1} die im Kräftemaßstabe abzulesenden Größtwerte $\max D_m$ und $\min V_{m-1}$.



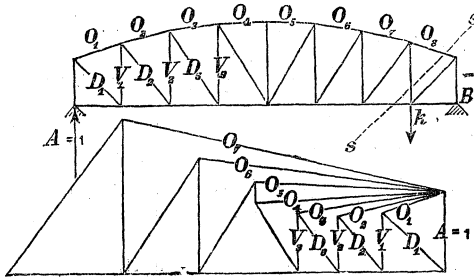
Verlangt das Kriterium auf S. 87 ein Vorschieben der Last P_1 , ins Feld λ_m , so zerlege man die in $(m-1)$ wirkende Last $\frac{P_1 e_1}{\lambda_m}$ nach ΔU_m und ΔV_{m-1} , ΔV_{m-1} nach ΔD_m und ΔO_m parallel zu den gleichnamigen Stäben; e_1 ist der Abstand von P_1 zu P_2 . Δ_m^1 (s. S. 93) möge D_m^1 und V_{m-1}^1 ergeben; schliesslich wird

$$\max D_m = D_m^1 + \Delta D_m$$

und

$$\min V_{m-1} = V_{m-1}^1 + \Delta V_{m-1}.$$

Abb. 35.



Verfahren mit Hilfe des Cremona-schen Kräfteplanes für $A=1$. Man denke sich den Knotenpunkt k in Abb. 35 so stark belastet, dass am linken Auflager der Widerstand $A=1$ hervorgerufen wird, und zeichne einen Kräfteplan, der nur die Spannkräfte links vom Schnitte ss zu enthalten braucht. Bedeuten nun

$$D_m(A=1) \quad \text{und} \quad V_{(m-1)}(A=1)$$

die Spannkräfte, die in den fraglichen Stäben infolge der Belastung $A=1$ hervorgerufen werden, so erhält man

$$\max D_m = A_m D_m(A=1) \quad \text{und} \quad \min V_{m-1} = A_m V_{(m-1)}(A=1).$$

Steht die zweite Last über dem Knotenpunkt m , setze man A_m^1 an Stelle von A_m und verfähre im übrigen ähnlich wie oben.

d. Verfahren mittels der Einflusslinien.*)

Trägt man in dem jedesmaligen Angriffspunkte einer über einen Träger wandernden Einzellast $P=1$ deren Einfluss auf die zu bestimmende Grösse Z (Auflagerdruck, Biegemoment, Querkraft usw.) als Ordinate η auf, so nennt man die Verbindungslinie der Endpunkte dieser Ordinaten η die **Einflusslinie für Z** . Zwischen 2 Querträgern ist jede Einflusslinie gerade. Bei möglichst ungünstiger Belastung des positiven Teiles der Einflusslinie wird der Grenzwert

$$\max Z = \sum P \eta +$$

gefunden; die Belastung des negativen Teiles gibt

$$\min Z = \sum P \eta -.$$

*) Vgl. Müller-Breslau, Graphische Statik, Bd. I u. II.

Die Einflusslinie für den Auflagerdruck A — die **A -Linie** — ist infolge der Beziehung

$$A = P \frac{b}{l}$$

für die Last $P=1$ eine Gerade mit der Ordinate 1 unter A und der Ordinate 0 unter B (Abb. 36a). Ihr Spiegelbild ist die **B -Linie**.

Die schraffierte Fläche nennt man die Einflussfläche für A oder kurz die **A -Fläche**. Die Einzellast P liefert zum Stützdruck A den Beitrag $A = P \eta_A$.

Last P rechts vom Schnitt C bringt in C das Moment $M_x = Ax$

Abb. 36.

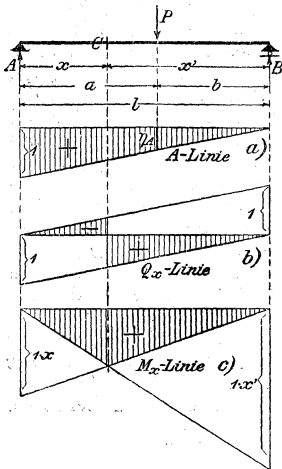
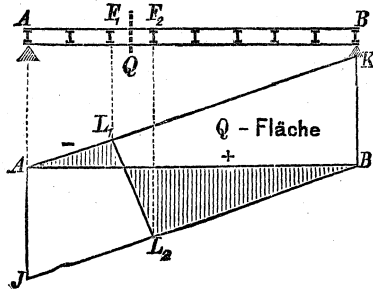


Abb. 37.



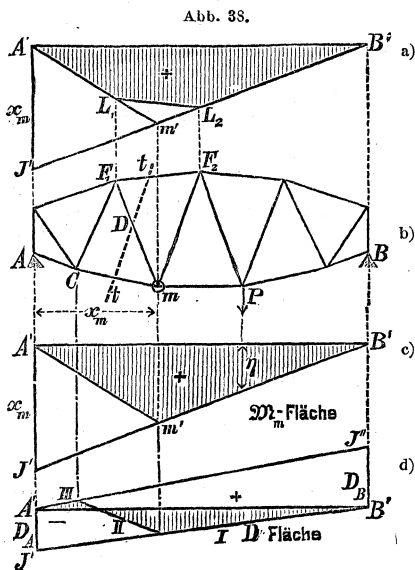
hervor; eine Last links von C bewirkt $M_x = Bx'$. Daher ist die M_x -Linie rechts vom Schnitt gleich der mit x multiplizierten A -Linie, links von C gleich der mit x' multiplizierten B -Linie (Abb. 36c).

In Abb. 37 erzeugt eine Last rechts vom Querträger F_2 : $Q = A$, eine links von F_1 stehende Last: $Q = -B$; d. h. rechts von F_2 ist die Q -Linie identisch mit der A -Linie, links von F_1 stimmt sie mit der ($-B$)-Linie überein. Zwischen den beiden Querträgern ist die Einflusslinie gerade. Der Nullpunkt der Einflusslinie liefert gleichzeitig die Lastscheide E (vgl. S. 89). Sind keine Querträger vorhanden, dann hat die Q_x -Linie für die in der Schnittstelle C auftretende Querkraft Q_x die in Abb. 36b eingetragene Gestalt.

Die **Einflusslinie für das Angriffsmoment M_m** in bezug auf einen Knotenpunkt m der die Fahrbahn tragenden Gurtung zeigt Abb. 38c. Greift die Belastung an der dem Knotenpunkte m gegenüberliegenden Gurtung an und liegt m zwischen zwei Querträgern F_1 und F_2 , so besteht die Einflusslinie für M_m nach Abb. 38a aus drei Geraden $A'L_1$, L_1L_2 , L_2B' , weil die Einflusslinie zwischen 2 Querträgern geradlinig sein muß.

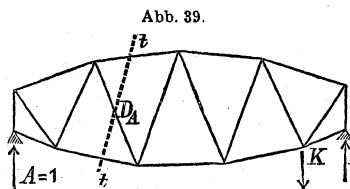
Durch die Momente M_m sind die Spannkkräfte in den Gurtungen bestimmt (s. Gl. 11, 14, 15).

Abb. 38d zeigt die aus drei Geraden I, II, III bestehende **Einflusslinie für die Spannkraft D** einer Schrägen, u. zw. für den Fall: **Fahrbahn unten**. Solange die über den Träger wandernde Last $P=1$ rechts vom Knotenpunkte m liegt, greift links vom Schnitt tt nur die

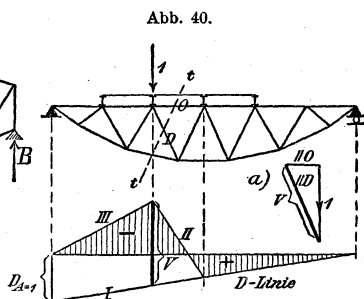


äußere Kraft A an; es ist dann D proportional A . Die Einflusslinie I schneidet deshalb auf dem Lote durch A' die Spannkraft D_A ab, die in der fraglichen Schrägen entsteht, sobald links von tt nur $A=1$ angreift (Abb. 39). Man findet D_A mit Hilfe eines Cremonaschen Kräfteplanes für $A=1$ (vgl. Abb. 35). Ebenso ergibt sich in Abb. 38d, dass die Gerade III (die den Einfluss von Lasten angibt, die zwischen A und C eingebracht werden) auf dem rechtsseitigen Auflagerlote die Spannkraft D_B (erzeugt durch $B=1$) abschneidet. Zwischen C und m aber gilt die Linie II. Im vorliegenden Falle findet man für D_A einen positiven, für D_B einen negativen Wert.

Zu einer sehr schnellen



Konstruktion der Einflusslinien für die Füllungsglieder gelangt man mit Hilfe eines Cremona-planes für $A=1$ und der Zerlegung der wandernden Last l nach der Richtung des fraglichen Stabes und der vom Schnitt tt getroffenen, die Fahrbahn tragenden Gurtung (Abb. 40a). Das Vorzeichen von v ist leicht zu entscheiden (vgl. Abb. 27); in Abb. 40 ist v negativ, denn die Last l erzeugt ein negatives D . Das Ergebnis



(s. Abb. 40) ist: man trage unter A den Wert $D_A=1$ auf, ziehe die Gerade I und setze unter Last 1 die Strecke v in dem für $D_A=1$ gewählten Kräftemaßstab an. Die Geraden II und III vervollständigen die Einflußlinie für D .

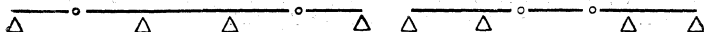
B. Gerberbalken.*)

Ein frei aufliegender Balken, der ein festes und $n-1$ bewegliche Auflager hat, ist $(n-2)$ fach statisch unbestimmt. Er wird statisch bestimmt durch sachgemäße Anordnung von $(n-2)$ Gelenken (Ausleger- oder Gerberscher Balken).

Abb. 41.



Abb. 42.



Diese Anordnung kann bei 3 Öffnungen entweder mit schwebenden Teilen am Ende (Abb. 41) oder mit schwebendem Teil in der Mitte (Abb. 42) getroffen werden.

Bei mehr als 3 Öffnungen müssen schwebende und feste Teile abwechseln. Die schwebenden Teile sind einfache Balken auf 2 Stützen und als solche zu berechnen.

Die Lage der Gelenke**) wird in der Regel so bestimmt, daß die größten Momente bei gleichförmig verteilter Last, absolut genommen, gleich gesetzt werden. Daraus ergibt sich eine Anzahl von Gleichungen, welche die günstigste Verteilung der Gelenke erkennen lassen. Bei Eisenbahnzügen rechnet man mit dem Belastungsgleichwert.

1. Berechnung bei ständiger Belastung.

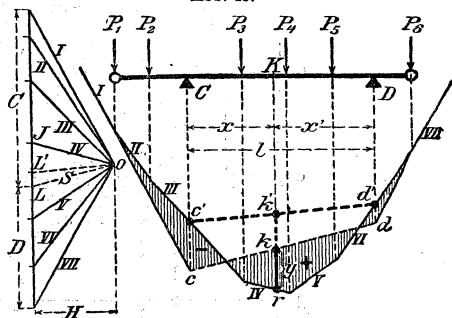
Die **Stützenwiderstände für C und D** (Abb. 43) werden entweder durch Aufstellen der Momentengleichungen für die Punkte D und C gefunden, oder zeichnerisch durch Eintragen der Schlußlinien $S=OL \parallel cd$ in den Kräfteplan bestimmt.

Das **Moment** für einen beliebigen Punkt K zwischen den Stützen C und D wird bestimmt mit Hilfe der Stützenmomente M_C und M_D aus der Gleichung

$$M_K = M_0 + M_C \frac{x'}{l} + M_D \frac{x}{l},$$

worin $M_0 = H y_0 = H k' r$ das Moment für das nur mit P_3, P_4 und P_5 belastete und auf 2 Stützen (C und D)

Abb. 43.



*) Vrgl. Müller-Breslau, Graphische Statik d. Baukonstr. 4. Aufl. Bd. I. S. 159 u. 330.

**) Siehe Vianello, Der Eisenbau S. 121; R. Oldenbourg, München. Auch: Z. d. B. 1908 S. 535; C. Herbst, Gelenkträger mit gleichmäßig verteilter Last; Festlegung der Stützweiten zur Erzielung gleicher Größtmomente.

frei auflagernde Balkenstück CD ist und ferner

$$M_C = -H\bar{c}c' \quad \text{und} \quad M_D = -H\bar{d}d' \quad \text{ist (Abb. 43).}$$

Die **Querkraft** an der Stelle K ergibt sich aus

$$Q = \frac{dM}{dx},$$

wenn man mit Q_0 wieder die Querkraft in K bei ausschließlicher Belastung des Balkenstückes CD bezeichnet, zu

$$Q_K = Q_0 + \frac{M_D - M_C}{l},$$

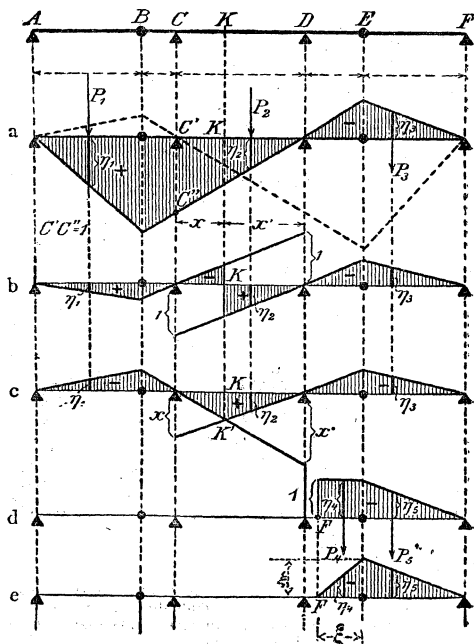
worin $Q_0 = L'J$ ist und M_C und M_D die Stützenmomente bedeuten.

Der Punkt L' wird gefunden aus $OL' \parallel c'd'$.

2. Berechnung bei veränderlicher Belastung.

Bei Belastung durch ein verschiebbares System von Einzellasten empfiehlt es sich, die Stützenreaktionen sowie die Momente und Querkräfte für die einzelnen Laststellungen durch Einflußlinien zu be-

Abb. 44.



stimmen. Der Teil CD des Trägers verhält sich gegenüber Lasten, die innerhalb CD angreifen, wie ein einfacher Balken; dementsprechend werden zunächst die Einflußlinien für den einfachen Balken CD gezeichnet, dann bis zu den Gelenken B und E verlängert und unter A und F auf Null herabgeführt.

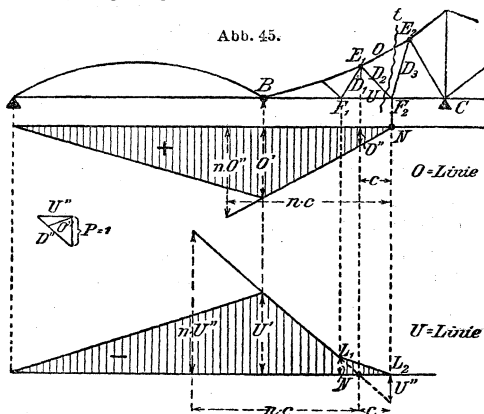
Abb. 44a zeigt die Einflußlinie für den **Stützendruck** C und punktiert die für D ; jene hat unter C , diese unter D die Ordinate 1. Figur b gibt die **Q_K -Linie** der Querkraft im Schnitte K . Figur c stellt die **M_K -Linie** dar. Für einen Punkt F des Kragarmes sind die **Q_F -Linie** und **M_F -Linie** in Figur d und e gezeichnet.

Betreffs der Auswertung der Einflußlinien vrgl. S. 101, C.

3. Der Gerbersche Fachwerkbalken.

a. Berechnung der Ausleger.

Die Einflußlinien für die **Gurtstäbe** O und U werden entweder mit Hilfe der Größen O' bzw. U' gezeichnet, die aus einem Cremonaschen Kräfteplan für die in B angreifende Last $P=1$ gefunden und unter dem Gelenk B aufgetragen werden, oder aber mit Hilfe der Werte O'' und U'' , die durch Zerlegen von $P=1$ nach O und D_2 oder nach U und D_2 bestimmt und auf einer Senkrechten unter Knotenpunkt E_1 bzw. F_2 abgetragen werden.

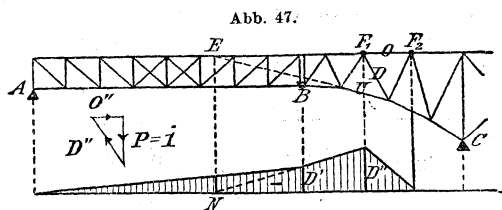
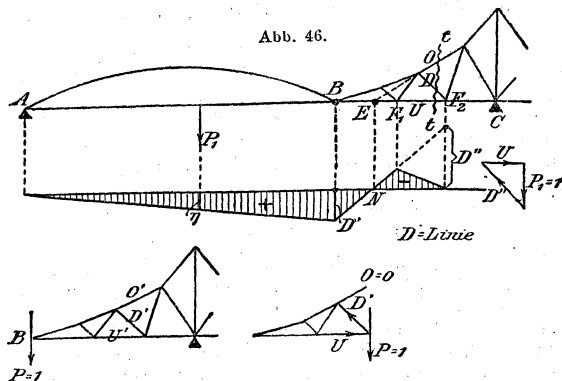


Im letzteren Fall trägt man zur Vermeidung von Zeichenfehlern zweckmäßig die n -fachen Größen O'' und U'' in der n -fachen Entfernung vom Punkte N ab, der senkrecht unter Punkt F_2 oder E_1 liegt (Abb. 45).

Die Einflußlinie für eine **Schräge** wird bestimmt durch D' , für die Belastung $P=1$ in B angreifend, oder durch D'' für $P=1$ in F_2 .

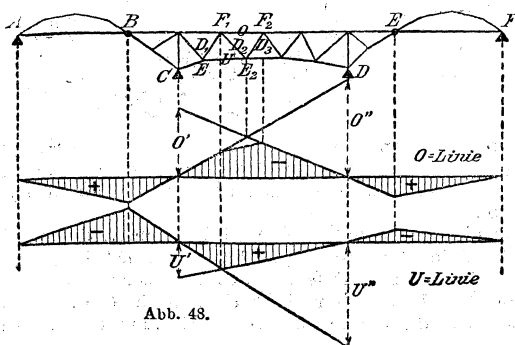
D' wird gefunden mit Hilfe eines Cremonaschen Planes, D'' durch Zerlegen von $P=1$ nach U und D oder nach O und D (Abb. 46 u. 47), je nachdem die untere oder obere Gurtung belastet ist.

Der Nullpunkt N liegt senkrecht unter dem Schnittpunkt von O und U . Bei Abb. 46 liegt Punkt E rechts von B ; bei Abb. 47 dagegen links von dem Gelenk.



b. Berechnung des mittleren Trägers teils CD .

Die Einflusslinien für die **Gurtstäbe** O und U sind bestimmt durch die Größen O' und U' oder durch O'' und U'' . Die beiden ersteren

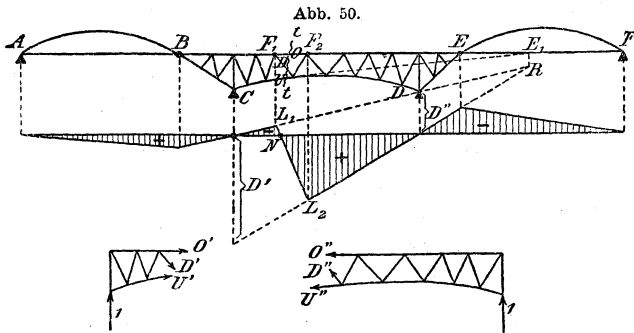
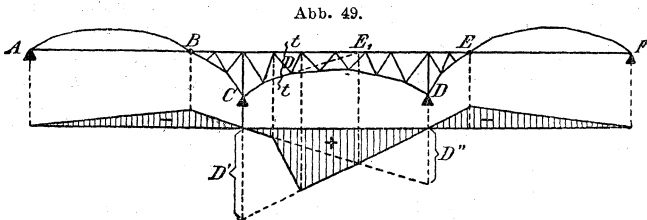


werden gefunden mit Hilfe eines Cremonaschen Planes für den Belastungszustand $C=1$, die beiden letzteren ebenso für den Zustand $D=1$.

Der Verlauf der Einflußlinien ist in Abb. 48 dargestellt.

Die Einflußlinien für die **Füllungsstäbe** D werden ähnlich gezeichnet wie bei den Kragträgern mit Hilfe der Größen D' und D'' , wobei D' die Spannkraft in der Schrägen D für den Belastungszustand $C=1$ und D'' diesen Wert für den Zustand $D=1$ bedeutet (Abb. 49 u. 50).

Abb. 49 stellt den Fall dar, wo der Schnittpunkt E_1 der zugehörigen Gurtstäbe O und U zwischen C und D , und Abb. 50 den Fall, wo E_1 außerhalb dieses Trägereils liegt.



C. Verwertung der M_x -Linie des einfachen Balkens.*)

Die Einflußfläche für irgend eine GröÙe Y sei ein Dreieck über der Länge l (Abb. 51a). Ersetzt man die Y -Linie durch die M_x -Linie eines einfachen Balkens (Abb. 51 b) von der Weite l , so erscheinen alle Ordinaten im Verhältnis $x:c$ verändert, und es ist

$$Y = M_x \frac{c}{x}.$$

*) Siehe Müller-Breslau, Graphische Statik, Bd. I, 4. Aufl., S. 157.

M_x wird den Tabellen auf S. 72/73 entnommen oder mit Hilfe des Seilpolygons (Abb. 23) in der Form $M_x = Hy$ bestimmt. Hat die Y -Linie keine Spitze (in Abb. 51 b punktiert), dann wird $Y = Hy \cdot \frac{c}{x}$, wobei y nach S. 86 zwischen $A'B'$ und der zum Felde $F_1 F_2$ gehörigen Schlußlinie zu messen ist.

Handelt es sich z. B. um den Auflagerdruck C des Gerberschen Balkens (Abb. 44 a), so nehme man zwei stellvertretende einfache Balken von der Weite $AD = l'$ und $DF = l_3$ an und bestimme dazu aus den Tabellen auf S. 72/73 für die Stellen B und E die Momente M_B und M_E . Die Ordinaten unter A und F haben mit den Bezeichnungen

$$AD = l', \quad CD = l_3, \quad AB = a,$$

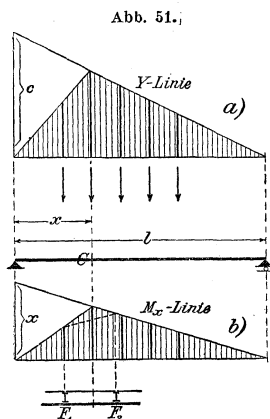
$$DF = l_3 \text{ und } EF = b$$

die Werte $\frac{l'}{l_3}$ bzw. $\frac{l_3}{l_3}$ und die Grenzwerte des Stützdruckes werden

$$\max C = \frac{l'}{al_3} M_B$$

und

$$\min C = \frac{l_3}{bl_3} M_E.$$



D. Besondere Fälle. Gleichförmige Belastung.

Bezeichnungen s. S. 90, außerdem bedeuten

x_m und x_m' die Abstände des m^{ten} Knotenpunktes von den Auflagern A (links) und B (rechts),

x'' den Abstand der Mitte des m^{ten} Feldes von der Trägermitte (vgl. Abb. 24),

g_0 die am Obergurte und g_u die am Untergurte angreifende, bleibende, gleichförmige Belastung für die Längeneinheit,

$g_0 + g_u = g$; $g + p = q$; p ist die gleichförmig verteilte bewegliche Belastung der Längeneinheit.

Bei konstanter Feldweite λ setze man $x_m = m\lambda$, $x_m' = m'\lambda$, $l = n\lambda$ und $m + m' = n$, wodurch sich die Formeln vereinfachen.

Es ist sehr zu empfehlen, Fachwerke mit Gegendiagonalen zu vermeiden und alle Schrägen steif zu bauen.

1. Parallelträger.

Ist φ_m der Neigungswinkel der m^{ten} Schräge D_m gegen die Wagerechte, so hat man (Abb. 52):

$$\left. \begin{aligned} O_m &= -\frac{q x_m x'_m}{2h} = -U_{m+1} \\ \max D_m \sin \varphi_m &= g x''_m + \frac{p x'^2_m}{2(l-\lambda_m)} \\ \min D_m \sin \varphi_m &= g x''_m - \frac{p x'^2_m - 1}{2(l-\lambda_m)} \end{aligned} \right\} \quad . \quad 20)$$

ferner bei belastetem Obergurte

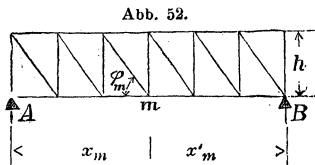
$$\frac{\min}{\max} V_m = - \left[\frac{\max}{\min} D_m \sin \varphi_m - \frac{g u}{2} (\lambda_m + \lambda_{m+1}) \right] \quad . \quad 21)$$

bei belastetem Untergurte

$$\frac{\min}{\max} V_m = - \left[\frac{\max}{\min} D_{m+1} \sin \varphi_{m+1} + \frac{g_0}{2} (\lambda_m + \lambda_{m+1}) \right] \quad . \quad 21a)$$

Werden in den mittleren Feldern Gegenschrägen angeordnet, so hat man nur die $\min V$ zu berechnen.

Bei Anordnung von schlaffen Haupt- und Gegenschrägen gibt es Belastungsfälle, für welche beide Schrägen eines Feldes Zugkräfte erhalten.*)



Spannkraft in der End-Lotrechten bei A (Abb. 52)

bei belastetem Obergurte

$$V_0 = -\frac{q l}{2} + \frac{g u \lambda_1}{2} \quad . \quad 22)$$

bei belastetem Untergurte

$$V_0 = -\frac{q (l - \lambda_1)}{2} - \frac{g_0 \lambda_1}{2} \quad . \quad 22a)$$

Die **Durchbiegung****) f (in cm) in der Mitte eines Parallelträgers ist angenähert

$$f = \frac{M h l}{8 E J} \left(0,85 \frac{l}{h} + 1,13 c \right) \quad . \quad 23)$$

worin M das durch gleichförmige Belastung hervorgerufene Biegemoment in der Trägermitte in cmkg, J das Trägheitsmoment des ganzen Trägerquerschnittes in der Trägermitte in cm^4 , E den Elastizitätsmodul in kg/qcm , l die Stützweite und h die Trägerhöhe in cm, $c=3$ für das System des rechtwinkligen Dreiecks, $c=2$ für das System des gleichschenkligen Dreiecks bedeutet.

2. Parabelträger.

1. Jedes Feld enthält zwei sich kreuzende Zugschrägen. Bedeutet

*) Vgl. K. Wieghardt, Z. d. B. 1904 S. 390 bis 392; ferner J. Labes, Z. d. B. 1904 S. 656.

**) Vgl. auch R. F. Mayer, Z. d. ö. A. u. I. V. 1892 Nr. 44. Ferner J. Labes, Z. f. B. 1894 S. 119.

Diese Werte werden so lange berechnet, bis sich ein Wert ergibt, der größer als 1 ist. Ist z. B. für den Träger Abb. 55 ($h_4 : h_5$) > 1 gefunden worden, so nimmt man $h_4 = h_5 = h_6$ an (am besten $= \frac{1}{7} l$) und berechne dann h_3 aus h_4 , h_2 aus h_3 und h_1 aus h_2 . Der mittlere, als Parallelträger konstruierte Teil erhält Gegenschragen. (Vrgl. S. 103.)

Bei **gleichförmiger Verkehrslast** findet man

$$\frac{h_m - 1}{h_m} = \frac{x(m-1) x'(m-1) [gl + p x_m]}{x_m x'_m [gl + p x(m-1)]} \quad . \quad . \quad 32a)$$

Die Spannkkräfte berechne man nach den auf S. 90 bis 93 gegebenen allgemeinen Formeln.

Für die **Schrägen** erhält man bei gleichförmiger Verkehrslast die einfachere Formel

$$\left. \begin{aligned} \max D_m &= \frac{pl d_m}{4f}, \\ \text{wo } d_m &\text{ die Länge der Schrägen und} \\ f &= \frac{h_1}{4} \frac{l^2}{(l - \lambda_1) \lambda_1} \frac{g + p \frac{\lambda_1}{l}}{g + \frac{p}{2}} \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad 33)$$

ist.

Darin bedeutet λ_1 die erste Feldweite und h_1 die Länge der ersten Lotrechten.

5. Parabolischer Sichelträger.

Die Trägerform, die Spannkkräfte in den Gurtungen und Schrägen werden nach den Formeln 24, 25 und 26 bestimmt. Die Beanspruchungen der Lotrechten sind, wenn (Abb. 56)

$$f' : f = \varepsilon$$

gesetzt wird,

$$\left. \begin{aligned} \max V_m &= \frac{1}{2} (q\varepsilon + gu) [\lambda_m + \lambda(m+1)] \\ \min V_m &= \frac{p x'(m-1) [x(m-1) - \varepsilon [\lambda_m + \lambda(m+1)]]}{2l} \\ &\quad + \frac{1}{2} (g\varepsilon + gu) [\lambda_m + \lambda(m+1)] \end{aligned} \right\} \quad 34)$$

In Nr. 6 bis 8 werden Formeln zur Berechnung der Stabkräfte der gebräuchlichsten Bindersysteme angegeben. Gewöhnlich führt aber die graphische Ermittlung der Spannkkräfte schneller zum Ziel.

6. Polonceau-Dachbinder.

Ist l die Stützweite eines Binders in m,

t die Binder-Teilung (Abstand zweier benachbarten Binder) in m,

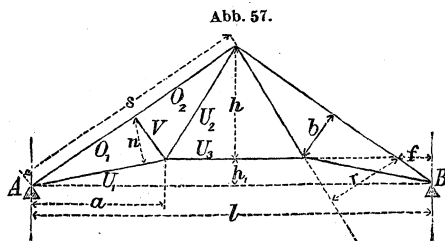
q das Gesamtgewicht des Daches (Eigengewicht nebst Wind und Schneedruck) in kg/qm Dachgrundfläche (s. S. 61),

so kommt auf jeden Binder eine lotrechte Belastung

$$P = ltq \text{ in kg.}$$

α. Einfacher Polonceau-Binder. Liegen die Knotenpunkte des Binderobergurtes in je $\frac{1}{4}l$ wagerechtem Abstände, so kommt auf jeden dieser Knotenpunkte eine Belastung von $\frac{1}{4}P$.

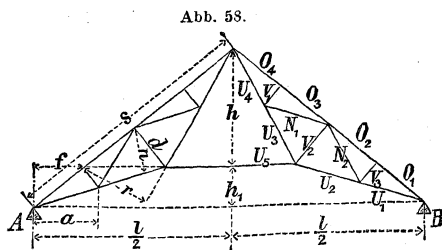
In Abb. 57 sind die Abmessungen des Binders gegeben; unter der angegebenen Voraussetzung werden die Spannkraften



$$\left. \begin{aligned} O_1 &= -\frac{3Pa}{8b}; & O_2 &= -\frac{3Pa}{8b} + \frac{P(h+h_1)}{4s} \\ U_1 &= +\frac{3Pl}{32n}; & U_2 &= +\frac{P(l+2f)}{16r} \\ U_3 &= +\frac{Pl}{8h}; & V &= -\frac{Pl}{8s} \end{aligned} \right\} \quad 35)$$

β. Doppelter Polonceau-Binder. Bei regelmäßiger Teilung liegen die Knotenpunkte des Binderobergurtes in $\frac{1}{8}l$ wagerechtem Abstände, und auf jeden von ihnen entfällt eine Belastung $= \frac{1}{8}P$.

In Abb. 58 sind die Abmessungen des Binders gegeben; unter der angegebenen Voraussetzung werden die Spannkraften



$$\left. \begin{aligned} O_1 &= -\frac{7Pa}{8d}; & O_3 &= O_2 + \frac{P(h+h_1)}{8s}; & N_1 &= N_3 = +\frac{Pl}{64n} \\ O_2 &= O_1 + \frac{P(h+h_1)}{8s}; & O_4 &= O_3 + \frac{P(h+h_1)}{8s}; & U_1 &= 7N_1 \\ U_2 &= 6N_1; & U_4 &= \frac{P(3l+2f)}{32r}; & V_1 &= V_3 = -\frac{Pl}{16s} \\ U_3 &= \frac{N_1(2n+r)}{r} + \frac{3Pf}{16r}; & U_5 &= \frac{Pl}{8h}; & V_2 &= 2V_1. \end{aligned} \right\} \quad 36)$$

Sonderfall $h_1 = 0$.

$$\left. \begin{aligned} O_1 &= -\frac{7Pa}{8d}; & O_2 &= O_1 + \frac{Ph}{8s}; & O_3 &= O_2 + \frac{Ph}{8s} \\ O_4 &= O_3 + \frac{Ph}{8s}; & N_1 &= N_2 = +\frac{Pl}{32h}; & U_1 &= 7N_1 \\ U_2 &= 6N_1; & U_3 &= 2N_1; & U_4 &= 3N_1 \\ U_5 &= 4N_1; & V_1 &= V_3 = -\frac{Pl}{16s}; & V_2 &= 2V_1 \end{aligned} \right\} 37)$$

7. Englischer Dachbinder (Dreieckbinder).

(Siehe auch Bezeichnungen S. 83.)

α . Die linke Trägerhälfte hat nach links ansteigende, die rechte nach rechts ansteigende Schrägen (Abb. 59).

Die Gurt-Spannkkräfte sind

$$O_m = -\frac{qx'ml}{4h \cos \beta}; \quad U_m = +\frac{qx'(m-1)l}{4h \cos \gamma} \quad . \quad 38)$$

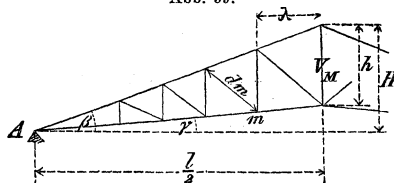
Die Spannkkräfte in den beiden ersten Feldern des Untergurtes sind einander gleich, also $U_1 = U_2$. Ferner sind die Spannkkräfte in den Schrägen und Lotrechten

$$\left. \begin{aligned} D_m &= -\frac{ql d_m}{4h} \\ V_m &= +\frac{qx(m-1)}{2} \end{aligned} \right\} 39)$$

Die Spannkraft in der mittelsten Lotrechten ist

$$V_M = q \left(\frac{lH}{2h} - \lambda \right) \quad 40)$$

Abb. 59.

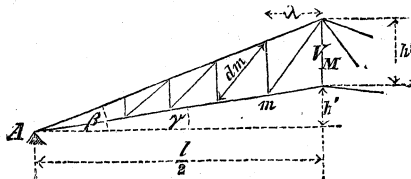


β . Die linke Trägerhälfte hat nach rechts ansteigende, die rechte nach links ansteigende Schrägen (Abb. 60).

Die Gurt-Spannkkräfte sind

$$\left. \begin{aligned} O_m &= -\frac{qx'(m-1)l}{4h \cos \beta} \\ U_m &= +\frac{qx'ml}{4h \cos \gamma} \end{aligned} \right\} 38a)$$

Abb. 60.



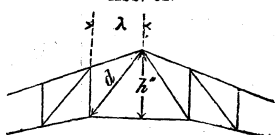
Die Spannkkräfte in den beiden ersten Feldern des Obergurtes sind einander gleich, also $O_1 = O_2$. Ferner sind die Spannkkräfte in den Schrägen und Lotrechten

$$\left. \begin{aligned} D_m &= +\frac{ql d_m}{4h} \\ V_m &= -\frac{qx_m + 1}{2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 39a)$$

Die Spannkraft in der mittelsten Lotrechten ist

$$V_M = \frac{q l h'}{2 h} \dots \dots \dots 40a)$$

Abb. 61.



Bei der in Abb. 61 dargestellten Anordnung ist die mittelste Lotrechte überflüssig; die Spannkraft in der wagerechten Zugstange wird

$$U_M = \frac{q l^2}{8 h''} \dots \dots 41)$$

Ferner ist die Spannkraft in jeder der mittleren Schrägen

$$D_M = + \frac{q l d [l (h'' - h) + 2 \lambda h'']}{8 \lambda h h''} \dots \dots 42)$$

worin h dieselbe Bedeutung hat wie in Abb. 60.

γ. Eine zweite Art des englischen Dachbinders entsteht, wenn in Abb. 59, 60 u. 61 in den Knotenpunkten, bei regelmäßiger Teilung, **Stützen winkelnrecht zum Binderobergurt** (statt der Lotrechten) angeordnet werden. Hierfür lassen sich die Spannkraften mittels des Ritterschen Schnittverfahrens bestimmen.

8. Zeltdächer.

Sie entstehen über einem regelmäßigen, vieleckigen Grundrisse durch Vereinigung von zentral gestellten Satteldach-Binderhälften. Werden z. B. die in Abb. 59 bis 61 dargestellten Binder zur Bildung von Zeltdächern benutzt, und bezeichnet P die Gesamtbelastung (Dreieckslast) einer Binderhälfte, die durch die Lotrechten in n Felder von gleicher Breite abgeteilt wird (also $\lambda = \frac{1}{2} l : n$), so ergeben sich die folgenden Spannkraften:

α. Zeltdach nach Abb. 59.

$$\left. \begin{aligned} O_m &= - \frac{P [3 n^2 - m (3 n - m)] \lambda}{3 h n \cos \beta} \\ U_m &= + \frac{P [3 n^2 - (m - 1) (3 n - m + 1)] \lambda}{3 h n \cos \gamma} \\ D_m &= - \frac{P d_m [3 n - 2 m + 1]}{3 h n} \\ V_m &= + \frac{P (m - 1) [3 n - 2 m + 1]}{3 n^2} \\ V_M &= + \frac{P [H n^2 - h]}{3 h n^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots 43)$$

Letzterer Wert V_M ist die Spannkraft, welche auf die allen Bindern gemeinsame, mittelste Lotrechte von der Belastung einer Binderhälfte übertragen wird. Die Spannkraft $U_1 = U_2$ folgt für $m = 2$.

β. Zelt Dach nach Abb. 60.

$$\left. \begin{aligned}
 O_m &= - \frac{P [3n^2 - (m-1)(3n-m+1)] \lambda}{3hn \cos \beta} \\
 U_m &= + \frac{P [3n^2 - m(3n-m)] \lambda}{3hn \cos \gamma} \\
 D_m &= + \frac{P d_m [3n - 2m + 1]}{3hn} \\
 V_m &= - \frac{P(m+1)[3n - 2m + 1]}{3n^2}; \quad V_M = + \frac{Ph'}{3h}
 \end{aligned} \right\} 44)$$

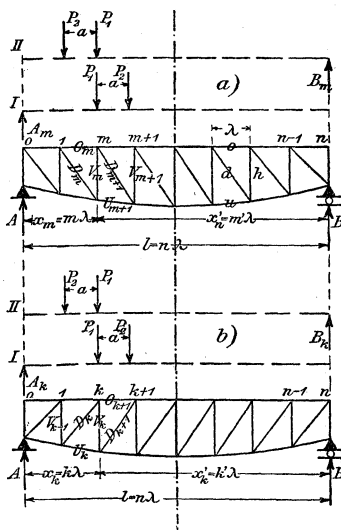
Ueber V_M s. unter α. — Die Spannkraft $O_1 = O_2$ folgt für $m = 2$.
Für den Fall eines mittleren wagerechten Stückes der unteren Gurtung ist die Spannkraft jeder der mittleren Schrägen

$$D_M = + \frac{Pd [n^2 (h'' - h) + h'' (n+1)]}{3hh''n} \dots \dots 45)$$

und die des wagerechten Gurtstückes (vgl. Abb. 61)

$$U_M = + \frac{Pl}{6h''} \dots \dots \dots 46)$$

Abb. 62.



9. Kranträger.*)

Es sei $P_1 > P_2$ (Abb. 62). Die allgemeingültigen Laststellungen der Katze zur Ermittlung der größten Stabkräfte liefern nach

Abb. 62 a, I:

$$\left. \begin{aligned}
 \min O_m \\
 \max U_{m+1} \\
 \max D_m \\
 \min V_m
 \end{aligned} \right\} \begin{aligned}
 &\text{der linken} \\
 &\text{Trägerhälfte,} \\
 &\text{des ganzen} \\
 &\text{Trägers,}
 \end{aligned}$$

Abb. 62 a, II:

$$\left. \begin{aligned}
 \min D_{m+1} \\
 \max V_{m+1}
 \end{aligned} \right\} \begin{aligned}
 &\text{des ganzen} \\
 &\text{Trägers,}
 \end{aligned}$$

Abb. 62 b, I:

$$\left. \begin{aligned}
 \min O_{k+1} \\
 \max U_k \\
 \min D_k \\
 \max V_{k-1}
 \end{aligned} \right\} \begin{aligned}
 &\text{der linken} \\
 &\text{Trägerhälfte,} \\
 &\text{des ganzen} \\
 &\text{Trägers,}
 \end{aligned}$$

Abb. 62 b, II:

$$\left. \begin{aligned}
 \max D_{k+1} \\
 \min V_k
 \end{aligned} \right\} \begin{aligned}
 &\text{des ganzen} \\
 &\text{Trägers.}
 \end{aligned}$$

Dabei ist vorausgesetzt, daß die Last an der oberen wagerechten Gurtung angreift.

*) S. Müller-Breslau, Z. d. V. d. I. 1910, Bd. 54.

Im Belastungsfall Abb. 62 a, I entsteht eine Auflagerreaktion

$$A_m = \frac{1}{l} [P_1 x'_m + P_2 (x' - a)] = (P_1 + P_2) \frac{m'}{n} - P_2 \frac{a}{l};$$

im Falle der Abb. 62 a, II

$$B_m = (P_1 + P_2) \frac{m}{n} - P_2 \frac{a}{l}.$$

Man zerlegt die Stützendrücke nach den entsprechenden größten Stabkräften (Culmannsche Zerlegung, s. S. 93), oder man zeichnet je einen Cremonaschen Kräfteplan für $A=1$ und $B=1$ und multipliziert seine Werte mit A_m bzw. B_m . Analytisch wird mit den allgemeinen Bezeichnungen

$$\frac{x_m}{h_m} = \eta_m, \quad \frac{x'_m}{h_m} = \eta'_m \quad \text{und} \quad \frac{s}{\lambda} = s',$$

nach Abb. 62 a, I

$$\left. \begin{aligned} \min O_m &= -A_m \cdot \eta_m \\ \max U_{m+1} &= +A_m \eta_m u'_m + 1 \\ \max D_m &= +A_m (\eta_m - \eta_{m-1}) d'_m \\ \min V_m &= -A_m (\eta_{m+1} - \eta_m) h'_{m+1} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (47a I)$$

nach Abb. 62 a, II

$$\left. \begin{aligned} \min D_{m+1} &= -B_m (\eta'_m - \eta'_{m+1}) d'_{m+1} \\ \max V_{m+1} &= +B_m (\eta'_{m+1} - \eta'_{m+2}) h'_{m+2} \end{aligned} \right\} \quad (47a II)$$

nach Abb. 62 b, I

$$\left. \begin{aligned} \min O_{k+1} &= -A_k \cdot \eta_k \\ \max U_k &= +A_k \cdot \eta_k u'_k \\ \min D_k &= -A_k (\eta_k - \eta_{k-1}) d'_k \\ \max V_{k-1} &= +A_k (\eta_{k-1} - \eta_{k-2}) h'_{k-2} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (47b I)$$

nach Abb. 62 b, II

$$\left. \begin{aligned} \max D_{k+1} &= +B_k (\eta'_k - \eta'_{k+1}) d'_{k+1} \\ \min V_k &= -B_k (\eta'_{k-1} - \eta'_k) h'_{k-1} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (47b II)$$

Die Formeln haben für alle Kombinationen der Füllungsglieder Geltung. Sie lassen sich in ähnlicher Form auch für unten liegende Fahrbahn und wagerechten Untergurt aufstellen, z. B.

$$\begin{aligned} \min O_m &= -A_m \eta_m o'_m \text{ bei linkssteigenden Diagonalen,} \\ \max U_k &= +A_k \eta_k \text{ bei rechtssteigenden Diagonalen usw.} \end{aligned}$$

E. Der Dreigelenkbogen.

Der Bogenträger mit drei Gelenken ist statisch bestimmt. Zu einer lotrechten Last \bar{P} gehören die Kämpferdrücke K_l und K_r (Abb. 63),

die sich in die lotrechten Stützdrücke eines einfachen Balkens von der Stützweite l

$$A = \frac{Pb}{l} \quad \text{und} \quad B = \frac{Pa}{l}$$

und den Horizontalschub H zerlegen lassen. Das Moment M_G im Scheitelpunkt G ist Null:

$$M_G = Aw - P(w - a) - H \cdot f = 0.$$

Abb. 63.

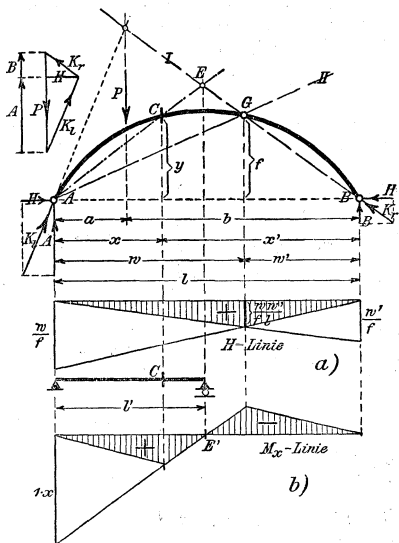
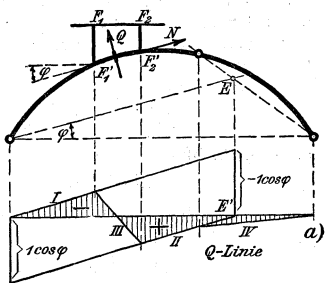


Abb. 64.



Daraus folgt der **Horizontalschub**

$$H = \frac{M_0 G}{f} \quad (48)$$

worin $M_0 G$ das Biegemoment eines einfachen Balkens AB unter G bedeutet. Die Einflußlinie für H ergibt sich nach Abb. 63 a.

Die A - und B -Linie stimmen mit denen des einfachen Balkens überein.

Das Moment im Punkte C eines vollwandigen Bogens ist

$$M_x = Ax - P(x - a) - Hy = M_0 x - Hy,$$

wo $M_0 x$ für den einfachen Balken gilt. Die M_x -Fläche entsteht demnach durch Subtraktion der $H\eta$ -Fläche von der $M_0 x$ -Fläche; dabei ergibt sich nach Ermittlung der Lastscheide E die bequemere Konstruktion, für einen einfachen Balken von der Weite l' die $M_0 x$ -Linie zu zeichnen, sie bis unter das Gelenk zu verlängern und unter B auf Null herabzuführen (Abb. 63 b). Der geometrische Ort der Lastscheiden ist die **Kämpferdrucklinie**, bestehend aus den beiden Bogenstücken I und II.

Im Schnitt C (Abb. 64) entsteht die **Querkraft**

$$Q = Q_0 \cos \varphi - H \sin \varphi,$$

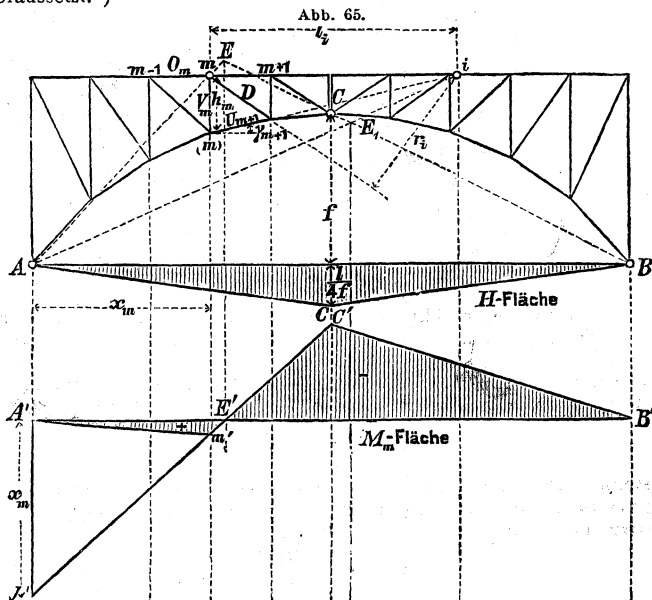
woraus sich die in Abb. 64 a gezeichnete Einflußlinie für Q ableiten läßt. Q_0 ist die Querkraft des einfachen Balkens, φ der Neigungs-

winkel der Tangente in C . Die Q -Linie läßt sich zeichnen, indem man nach Bestimmung der Lastscheide E unter A und E die Ordinaten $\pm 1 \cdot \cos \varphi$ von einer Wagerechten aus abmisst und I, II, III und IV einträgt. Die Lastscheide E bzw. E' ist einflußlos, wenn sie, wie im vorliegenden Falle, rechts vom Scheitelpunkt liegt. Da die Querkräfte, innerhalb eines Feldes sich mit φ wenig ändern, genügt es, Q für das ganze Feld gleich groß anzunehmen und unter φ den Neigungswinkel der Bogensehne $F_1'F_2'$ des fraglichen Feldes zu verstehen. Die durch Q erzeugten Schubspannungen werden zumeist unberücksichtigt gelassen. Man braucht aber Q zur Berechnung der Nietteilung. Bei dem Fachwerkbogen mit nahezu parallelen Gurtungen benutzt man Q zur Berechnung der Spannkraften in den Diagonalen, und zwar ist

$$D = + Q \cdot \operatorname{cosec} \alpha,$$

wenn α der Winkel zwischen Diagonale und Gurtstab ist.

Die **Achsisalkräfte** N unterscheiden sich nur wenig von H ; man berücksichtigt sie am einfachsten durch Einführung der Kernpunkt-momente, was aber die überschlägliche Berechnung der Kernradial voraussetzt. *)



In den Abb. 65 bis 67 sind die Konstruktionen der Einflußlinien eines symmetrischen Fachwerkbogens gezeigt.

*) S. Müller Breslau, Graphische Statik, Bd. I, 4. Aufl. S. 204.

Die Einflußfläche für den **Horizontalschub H** (Abb. 65) ist ein Dreieck ACB von der Höhe 1. ($l:4f$), worin l die Stützweite und f die Pfeilhöhe bedeutet.

Um die M_m -Fläche für den Knotenpunkt m zu erhalten, bringe man die Gerade Am mit der durch das Scheiteltgelenk gelegten Ge-

Abb. 66.

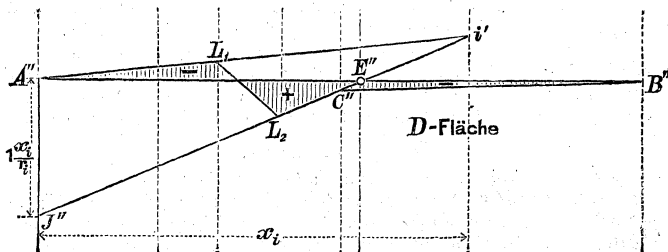
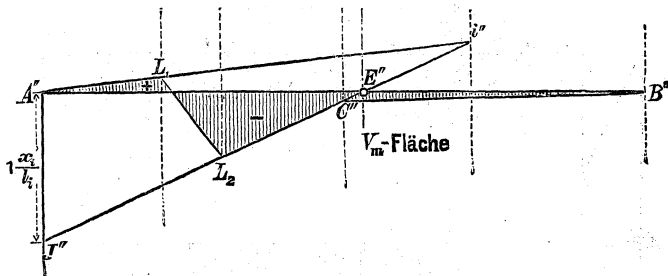


Abb. 67.



raden BC (Kämpferdrucklinie) in der Lastscheide E zum Schnitt, bestimme senkrecht darunter den Nullpunkt E' und verfähre wie in Abb. 63b.

Die gesuchte M_m -Fläche stimmt links von E' mit der M_m -Fläche eines einfachen Balkens $A'E'$ überein. Aus M_m findet man

$$U_{m+1} = + \frac{M_m}{h_m \cos \gamma_m + 1}.$$

Ähnlich wird die Einflußfläche für das Angriffsmoment $M_{(m)}$ in bezug auf den Knotenpunkt (m) der unteren Gurtung ermittelt; sie dient zur Berechnung von

$$O_m = -\frac{M_{(m)}}{h_m}.$$

Abb. 66 zeigt die **D-Fläche** für das Feld m bis $(m+1)$. Man bestimmt den Treffpunkt i der Gurtstäbe O_{m+1} , U_{m+1} , sodann den Schnittpunkt E_1 der Geraden Ai und BC , hierauf in der Nullachse $A''B''$ senkrecht unter E_1 den Punkt E'' . Nun macht man

$A''J'' = 1 \cdot (x_i : r_i)$, worin r_i in Abb. 65 das Lot von i auf die Diagonale D (d. i. Hebelarm von D) bedeutet, zieht $J''E''$ bis zu dem senkrecht unter i gelegenen Punkte i' , verbindet i' mit A'' und trägt schließlich L_1L_3 und $C''B''$ ein. L_1 und L_2 liegen senkrecht unter den das fragliche Feld begrenzenden Knotenpunkten m und $m+1$, und C'' liegt senkrecht unter dem Scheitelgelenk.

Ähnlich wird die V_m -Fläche erhalten (Abb. 67). i bedeutet hier den Schnittpunkt von O_m und U_{m+1} , er fällt bei gerader oberer Gurtung mit dem Schnittpunkt von O_{m+1} und U_{m+1} zusammen. Die Strecke $A''J''$ ist $= 1 \cdot (x_i : l_i)$, worin (in Abb. 65) l_i das Lot von i auf V_m bedeutet. Die Gerade L_1L_2 entspricht dem Felde $m-1$ bis m .

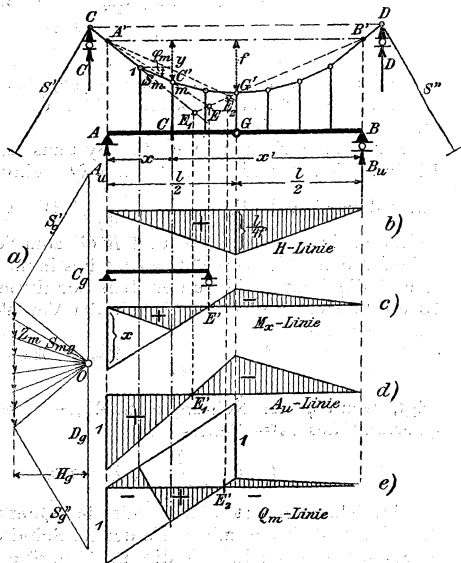
F. Versteifte Kette über eine Oeffnung.*)

Die Kette muß, damit wellenförmige Bewegungen der an ihr hängenden Brückenbahn bei Belastung vermieden werden, versteift sein. Geschieht dies durch den einmal gelenkartig unterbrochenen einfachen Balken, so ist das ganze System statisch bestimmt (Abb. 68).

Die ständige Belastung g wird gleichförmig verteilt angenommen. In den Knotenpunkten der Kette greifen die Lasten $Z_m g = 0,5 (\lambda_m + \lambda_{m+1}) g$ an; und die Hängestangen tragen die Lasten $Z_m g$ weniger dem Gewicht der halben im Knoten m zusammenstreichenden Kettenglieder. Die Spannkraften $S_m g$ in den Kettenstäben und die Reaktionen bei C und D ergeben sich aus dem für die Lasten $Z_m g$ und die durch drei Punkte ($CG'D$) bestimmte Kettenlinie gezeichneten Strahlenbüschel (Abb. 68a). (Vgl. I. Bd. S. 182, Seileck durch drei gegebene Punkte.)

Auf den Balken hat das Eigengewicht keinen Einfluss, weil er erst nach dem Aufbringen der ganzen Eigenlast fest vernietet wird; er ist daher lediglich durch Verkehrslast beansprucht.

Abb. 68.



*) S. Müller-Breslau, Graphische Statik, Bd. I, 4. Aufl., XII. Abschnitt.

Zur Berechnung der größten Spannkraften darf man die Knotenpunkte der Kette auf einer Parabel annehmen. Bezüglich der den Kettengliedern und Hängestangen in der Werkstatt zu gebenden Längen vergleiche man die angeführte Quelle.

Im folgenden bedeuten bei Verkehrslast:

M das Moment für den angehängten Balken an der Stelle C ,

M_0 das Moment an der Stelle C eines einfachen Balkens AB ,

H den Horizontalzug der Kette, d. i. die Horizontalprojektion der Kettenkräfte,

und zwar ist

$$M = M_0 - H \cdot y;$$

y ist die Ordinate über C zwischen Kette und Sehne $A'B'$; Hy stellt den Einfluß der Kräfte Z der Hängestangen auf den Balken dar, denn die Fläche zwischen Kette und $A'B'$ ist die Culmannsche Momentenfläche zu den Lasten Z . Das Moment im Gelenk G ist Null:

$$M_G = M_0 G - H \cdot f = 0,$$

woraus für den **Horizontalzug** der Kette folgt:

$$H = \frac{M_0 G}{f} \dots \dots \dots (49)$$

eine Gleichung, die mit Gleichung (48) des Dreigelenkbogens übereinstimmt. Aus dieser Analogie gehen die Einflußlinien für den Versteifungsbalken leicht hervor.

Für symmetrischen Bau des Systems sind in Abb. 68b bis e die Einflußlinien für H , M_x , A_u und Q_m eingetragen. Die **H -Linie** hat unter dem Gelenk die Ordinate $\frac{l}{4f}$. Die Lastscheide E für M_x wird gefunden, indem man $A'C'$ und $B'G'$ zum Schnitt bringt. Die Einflußlinie für den **Stützendruck** A_u ist bestimmt durch die Ordinate 1 unter A und die Lastscheide unter dem Schnittpunkt E_1 von $A'1$ und $B'G'$. Es ergibt sich die Notwendigkeit der Verankerung von A und B . Aus der Gleichung

$$Q_m = \frac{M_m - M_m - 1}{\lambda}$$

folgt, wenn φ der Neigungswinkel des m^{ten} Kettengliedes ist, für die Querkraft des m^{ten} Feldes

$$Q_m = \frac{1}{\cos \varphi_m} (Q_0 \cos \varphi_m - H \sin \varphi_m).$$

Der Klammerwert stimmt mit der Querkraft des Dreigelenkbogens überein, so daß sich mit Hilfe der im Schnitt von $A'E_2 \parallel 1m$ und $B'G'$ gelegenen Lastscheide E_2 die in Abb. 68e gezeigte Konstruktion der **Q_m -Linie** ergibt.

Bei Versteifung der Kette durch einen gegliederten Parallelträger lassen sich die Einflußlinien für die Gurtungen aus den Momentenlinien, diejenigen für die Füllungsstäbe aus den Querkraftlinien ableiten. Das Eigengewicht hat aus dem oben genannten Grunde auf die Stabkräfte des Balkens keinen Einfluß.

III. THEORIE DER STATISCH UNBESTIMMTEN EBENEN TRÄGER. *)

A. Die Arbeitsgleichung $\Sigma \bar{Q}_m \delta m = \Sigma \bar{S} \Delta s$ für ein ebenes Fachwerk.

1. Ableitung.

Die Fachwerke erleiden durch Belastung und bei Temperaturwechsel kleine Stablängenänderungen und Knotenpunktverschiebungen. Zwischen diesen Deformationen lassen sich Beziehungen aufstellen, die einerseits die Darstellung des deformierten Fachwerks gestatten, andererseits die Grundlage für die Berechnung statisch unbestimmter Systeme bilden.

Das ebene Fachwerk (Abb. 69) ist auf das rechtwinklige Koordinatensystem XY bezogen.

Für den Stab s_{ik} gilt vor der Deformation (Abb. 70)

$$s_{ik}^2 = (x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2,$$

nach der Deformation

$$(s_{ik} + \Delta s_{ik})^2 = [(x_k + \Delta x_k) - (x_i + \Delta x_i)]^2 + [(y_k + \Delta y_k) - (y_i + \Delta y_i)]^2.$$

Subtrahiert man die zweite Gleichung von der ersten, läßt die Glieder höherer Ordnung fort, weil es sich nur um verschwindend kleine Deformationen handelt, setzt

$$x_k - x_i = s_{ik} \cdot \cos \alpha_{ik}, \quad y_k - y_i = s_{ik} \cdot \cos \beta_{ik}$$

und beachtet, daß

$$\Delta s = \frac{S s}{EF} + \epsilon t s,$$

so erhält man die **Elastizitätsbedingung** des Stabes s_{ik}

$$\frac{S_{ik} s_{ik}}{E_{ik} F_{ik}} + \epsilon_{ik} t_{ik} s_{ik} = \Delta s_{ik} = (\Delta x_k - \Delta x_i) \cos \alpha_{ik} + (\Delta y_k - \Delta y_i) \cos \beta_{ik}$$

Diese Gleichung multipliziert man mit der Stabkraft \bar{S}_{ik} infolge eines nur gedachten Belastungszustandes (Abb. 71), stelle für jeden Stab des

*) S. Müller-Breslau, Graphische Statik, 2. Bd. und: Die neueren Methoden der Festigkeitslehre.

Abb. 69.

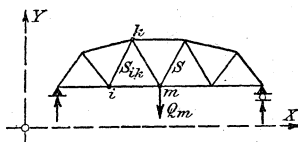
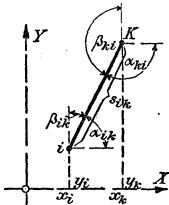


Abb. 70.



Fachwerks eine solche Bedingung auf und addiere sie alle. Mit den Substitutionen

$$\bar{S}_{ik} = \bar{S}_{ki}, \quad \cos \alpha_{ik} = -\cos \alpha_{ki}, \quad \cos \beta_{ik} = -\cos \beta_{ki},$$

ergibt sich dann:

$$\begin{aligned} \Sigma \bar{S}_{ik} \Delta s_{ik} &= -\Sigma (\Delta x_i \bar{S}_{ik} \cos \alpha_{ik} + \Delta y_i \bar{S}_{ik} \cos \beta_{ik}) \\ &\quad -\Sigma (\Delta x_k \bar{S}_{ki} \cos \alpha_{ki} + \Delta y_k \bar{S}_{ki} \cos \beta_{ki}). \end{aligned}$$

Nach Knotenpunkten geordnet folgt

$$\Sigma \bar{S} \Delta s = -\Sigma (\Delta x_m \Sigma_m \bar{S} \cos \alpha + \Delta y_m \Sigma_m \bar{S} \cos \beta);$$

Abb. 71.

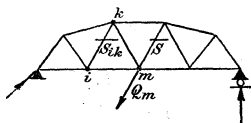


Abb. 72.

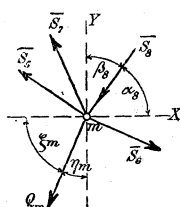
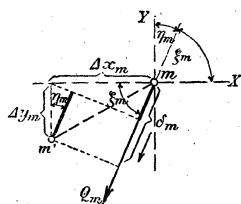


Abb. 73.



der Klammerwert erscheint so oft als Summenglied, als Knotenpunkte vorhanden sind; die Zahl der Summen $\Sigma_m \bar{S} \cos \alpha$ und $\Sigma_m \bar{S} \cos \beta$ ist gleich der Anzahl der in einem Knotenpunkt m zusammentreffenden Stäbe.

In jedem Knotenpunkte m herrscht zwischen \bar{Q} und \bar{S} Gleichgewicht. Daher ist (Abb. 72)

$$\begin{aligned} \bar{Q}_m \cdot \cos \xi_m &= -\Sigma_m \bar{S} \cos \alpha \\ \bar{Q}_m \cdot \cos \eta_m &= -\Sigma_m \bar{S} \cos \beta. \end{aligned}$$

Das gibt

$$\Sigma \bar{S} \Delta s = \Sigma (\Delta x_m \bar{Q}_m \cos \xi_m + \Delta y_m \bar{Q}_m \cos \eta_m).$$

Aus Abb. 73 erkennt man, daß $\Delta x_m \cdot \cos \xi_m + \Delta y_m \cos \eta_m$ gleich ist der Projektion δ_m der **wirklichen** Knotenpunktverschiebung mm' auf die Richtung der nur **gedachten** Kraft \bar{Q}_m . Man erhält schließlich die **Arbeitsgleichung**

$$\Sigma \bar{S} \Delta s = \Sigma \bar{Q}_m \delta_m \quad (50)$$

In Worten: Für eine verschwindend kleine Deformation des Fachwerks ist die virtuelle Formänderungsarbeit des Fachwerks ($\Sigma \bar{S} \Delta s$) gleich der virtuellen Arbeit der äußeren Kräfte ($\Sigma \bar{Q}_m \delta_m$). (Prinzip der virtuellen Verschiebungen.) δ_m ist positiv, wenn es denselben Sinn hat wie \bar{Q}_m .

Gleichung 50 ist die Arbeitsgleichung für einen **gedachten** Belastungszustand (\bar{Q}_m, \bar{S}) und den **wirklichen** Verschiebungszustand ($\delta_m, \Delta s$).

Für den **wirklichen** Belastungszustand (Q_m, S) und den **wirklichen** Verschiebungszustand ($\delta_m, \Delta s$) geht sie über in

$$\Sigma S \Delta s = \Sigma Q_m \delta_m \quad (51)$$

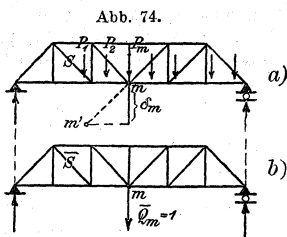
2. Die Anwendung der Arbeitsgleichung (50) auf statisch bestimmte Träger dient zur Berechnung von Knotenpunktverschiebungen δ_m .

Z. B. ist gesucht die lotrechte Durchbiegung δ_m für eine bestimmte Belastung, etwa für eine Probelastung (Abb. 74a).

Man ermittelt zunächst die Stabkräfte \bar{S} und die Längenänderungen

$$\Delta s = \frac{Ss}{EF} + \varepsilon t s = \frac{s}{E} (\sigma + \varepsilon Et)^* . . . (52)$$

Dann bringt man in m die gedachte Kraft $\bar{Q}_m = 1$ in der Richtung



von δ_m an (Abb. 74b), berechnet die \bar{S} und stellt die Arbeitsgleichung auf

$$\bar{Q}_m \delta_m = \sum \bar{S} \Delta s$$

$$1 \cdot \delta_m = \sum \bar{S} S \varrho + \sum \bar{S} \varepsilon t s,$$

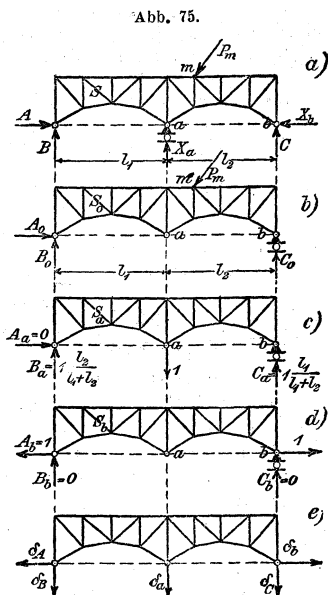
worin

$$\varrho = \frac{s}{EI} . . . (53)$$

Soll die tatsächlich eintretende Verschiebung mm' gefunden werden, so bestimmt man zwei Projektionen δ_m (wagerecht und lotrecht z. B.) und setzt sie zusammen.

3. Anwendung der Arbeitsgleichung (50) auf ein statisch unbestimmtes Fachwerk und seine Berechnung.

Der kontinuierliche Bogenträger (Abb. 75a) ist zweifach statisch unbestimmt; man erkennt leicht, daß durch Weglassung zweier Reaktionen, z. B. X_a und X_b , ein einfacher Balken entsteht. X_a und X_b werden zu statisch nicht bestimmbar Größen gewählt. Nach deren



*) Es ist für:

Schweißseisen	Flußseisen	Stahl
$\varepsilon = 12,1 \cdot 10^{-6}$	$11,8 \cdot 10^{-6}$	$12,4 \cdot 10^{-6}$
$E = 2,0 \cdot 10^6$	$2,15 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^6$
$\varepsilon E = 24$	25	27

kg/qcm

Beseitigung geht der Bogenträger über in das **statisch bestimmte Hauptsystem, Zustand $X=0$** (Abb. 75b), mit den Stabkräften S_0 .

Belastet man das statisch bestimmte Hauptsystem mit $X_a=-1$, so entsteht der **Zustand $X_a=-1$** mit den Stabkräften S_a (Abb. 75c). Belastung mit $X_b=-1$ gibt **Zustand $X_b=-1$** und S_b (Abb. 75d).

Die in Wirklichkeit entstehenden Stabkräfte sind

$$S = S_0 - X_a S_a - X_b S_b \quad . \quad . \quad . \quad (54)$$

die Reaktionen, z. B.

$$A = A_0 - X_a A_a - X_b A_b \quad . \quad . \quad . \quad (55)$$

X_a und X_b sind unbekannt. Zu ihrer Ermittlung stelle man die Arbeitsgleichung (50) auf für den wirklichen Formänderungszustand ($\partial, \Delta s$) und jeden der beiden willkürlichen Kräftezustände $X_a=-1$ und $X_b=-1$. Die geschätzten oder beobachteten Verschiebungen der Stützpunkte sind in Abb. 75e eingetragen; in der Regel werden sie gleich Null gesetzt.

Für Zustand $X_a=-1$ ist

$$1. \partial_a - 1 \frac{l_2}{l_1 + l_2} \partial_B - 1 \frac{l_1}{l_1 + l_2} \partial_C = \sum S_a \Delta s$$

oder

$$1. \partial_a + L_a = \sum S_a \Delta s, \quad . \quad . \quad . \quad (56)$$

worin L_a gleich ist der virtuellen Arbeit der Auflagerkräfte des statisch bestimmten Hauptsystems im Belastungszustande $X_a=-1$.

Analog ist für Zustand $X_b=-1$

$$1. \partial_b + L_b = \sum S_b \Delta s \quad . \quad . \quad . \quad (57)$$

Mit Beachtung von (52), (53) und (54) gehen (56) und (57) über in die **Elastizitätsgleichungen**

$$\left. \begin{aligned} \partial_a + L_a &= \sum S_a S_0 \varrho - X_a \sum S^2_a \varrho - X_b \sum S_a S_b \varrho + \sum S_a \varepsilon t s \\ \partial_b + L_b &= \sum S_b S_0 \varrho - X_a \sum S_b S_a \varrho - X_b \sum S^2_b \varrho + \sum S_b \varepsilon t s \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

aus welchen sich X_a und X_b berechnen lassen.

Nach folgender Umgestaltung erhalten die Gleichungen (58) eine andere bequeme Form. Es bezeichnet allgemein

+ ∂_{mq} die Verschiebung des Angriffspunktes m von P_m in der Richtung und im Sinne dieser Kraft infolge des Zustandes $X_q=-1$;

+ ∂_{pq} die Verschiebung des Angriffspunktes p von $X_p=-1$ in der Richtung und im Sinne dieser Kraft infolge des Zustandes $X_q=-1$;

+ ∂_{pt} die Verschiebung des Angriffspunktes p von $X_p=-1$ in der Richtung und im Sinne dieser Kraft infolge einer Temperaturänderung des unbelasteten statisch bestimmten Hauptsystems.

Bei starren Widerlagern ergibt die Arbeitsgleichung (50)

1) in Anwendung auf den Belastungszustand $X=0$ (Abb. 75b) und die Formänderungen des Zustandes $X_a=-1$ (Abb. 75c) bzw. $X_b=-1$ (Abb. 75d)

$$\left. \begin{aligned} \sum P_m \partial_{ma} &= \sum S_0 \Delta s_a = \sum S_0 S_a \varrho \\ \sum P_m \partial_{mb} &= \sum S_0 \Delta s_b = \sum S_0 S_b \varrho \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad (59)$$

2) auf den Belastungszustand $X_a = -1$ und die Deformationen des Zustandes $X_a = -1$ bzw. $X_b = -1$

$$\left. \begin{aligned} \delta_{aa} &= \sum S_a \delta s_a = \sum S_a^2 q \\ \delta_{ab} &= \sum S_a \delta s_b = \sum S_a S_b q \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (60)$$

3) auf den Belastungszustand $X_b = -1$ und die Deformationen des Zustandes $X_a = -1$ bzw. $X_b = -1$

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ba} &= \sum S_b \delta s_a = \sum S_b S_a q \\ \delta_{bb} &= \sum S_b \delta s_b = \sum S_b^2 q \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (61)$$

4) auf den Belastungszustand $X_a = -1$ bzw. $X_b = -1$ und die Formänderungen δ_t und ε_{ts} infolge einer Temperaturänderung

$$\left. \begin{aligned} \delta_{at} &= \sum S_a \varepsilon_{ts} \\ \delta_{bt} &= \sum S_b \varepsilon_{ts} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (62)$$

Die Gleichungen 58 gehen jetzt über in

$$\left. \begin{aligned} \delta_a + L_a &= \sum P_m \delta m_a - X_a \delta_{aa} - X_b \delta_{ab} + \delta_{at} \\ \delta_b + L_b &= \sum P_m \delta m_b - X_a \delta_{ba} - X_b \delta_{bb} + \delta_{bt} \end{aligned} \right\} \dots (63)$$

aus welchen sich die Unbekannten X berechnen lassen.

Aus Gleichung 60 und 61 folgt noch

$$\delta_{ab} = \delta_{ba},$$

oder allgemeiner

$$\delta_{mn} = \delta_{nm} \dots \dots \dots (64)$$

eine Beziehung, in welcher **der Maxwellsche Satz von der Gegenseitigkeit der Formänderungen** ausgesprochen liegt. Er besagt: Die Verschiebung δ_{mn} des Angriffspunktes m von P_m in der Richtung dieser Kraft infolge des Belastungszustandes $P_n = 1$ ist gleich der Verschiebung δ_{nm} des Angriffspunktes n von P_n in der Richtung dieser Kraft infolge des Belastungszustandes $P_m = 1$.

Die Verschiebungen δ lassen sich für viele Fachwerke aus Verschiebungsplänen (s. S. 122 u. f.) für die Zustände $X_a = -1$, $X_b = -1$ und den Zustand der Temperaturänderung unschwierig ermitteln.

Zur **Berechnung eines statisch unbestimmten Fachwerkes** verwandelt man dieses durch Weglassung von Reaktionen oder Stäben X in ein statisch bestimmtes Hauptsystem, unterwirft dieses den Belastungszuständen $X = 0$, $X_a = -1$, $X_b = -1$, $X_c = -1$, ... und dem Zustande der Temperaturänderung und berechnet die Unbekannten X entweder mit Hilfe der Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} \delta_a + L_a &= \sum S_a S_0 q - X_a \sum S_a^2 q - X_b \sum S_a S_b q \\ &\quad - X_c \sum S_a S_c q - \dots + \sum S_a \varepsilon_{ts} \\ \delta_b + L_b &= \sum S_b S_0 q - X_a \sum S_b S_a q - X_b \sum S_b^2 q \\ &\quad - X_c \sum S_b S_c q - \dots + \sum S_b \varepsilon_{ts} \\ \delta_c + L_c &= \sum S_c S_0 q - X_a \sum S_c S_a q - X_b \sum S_c S_b q \\ &\quad - X_c \sum S_c^2 q - \dots + \sum S_c \varepsilon_{ts} \\ &\dots \dots \dots = \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (58a)$$

oder bei brauchbaren Verschiebungsplänen mit Hilfe von

$$\left. \begin{aligned} \delta_a + L_a &= \sum P_m \delta m_a - X_a \delta_{aa} - X_b \delta_{ab} - X_c \delta_{ac} - \dots + \delta_{at} \\ \delta_b + L_b &= \sum P_m \delta m_b - X_a \delta_{ba} - X_b \delta_{bb} - X_c \delta_{bc} - \dots + \delta_{bt} \\ \delta_c + L_c &= \sum P_m \delta m_c - X_a \delta_{ca} - X_b \delta_{cb} - X_c \delta_{cc} - \dots + \delta_{ct} \\ &\dots \dots \dots = \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (63a)$$

Für die Ermittlung der Einflußlinie irgend einer Größe C (sei es Stabkraft, Stützendruck, Stützenmoment, Biegemoment oder Querkraft) gilt

$$C = C_0 - X_a C_a - X_b C_b - X_c C_c - \dots \quad (65)$$

hierin ist

C_0 der Wert von C für den Zustand $X=0$,
 C_a, C_b, \dots der Wert von C für den Zustand $X_a = -1, X_b = -1, \dots$

Unter Umständen kann die **Einführung eines statisch unbestimmten Hauptsystems** von Nutzen sein. Man beseitigt k statisch unbestimmte Größen von n vorhandenen, läßt also $(n-k)$ bestehen. Die Gleichungen zur Berechnung der k statisch unbestimmten Größen erhält man aus der Anwendung der Arbeitsgleichung (50) auf den wirklichen Formänderungszustand und die einzelnen Belastungszustände $X_a = -1, \dots, X_k = -1$ des $(n-k)$ fach statisch unbestimmten Hauptsystems. Diese Belastungszustände müssen sich aber einfach erledigen lassen. Ist z. B. $k=1$, so bleibt nur eine Unbekannte X_a übrig.

B. Darstellung der Formänderungen.

1. Der Williot'sche Verschiebungsplan.

Der Williot'sche Verschiebungsplan ermöglicht die zeichnerische Darstellung der Knotenpunktverschiebungen δ eines statisch bestimmten

Fachwerkes für einen bestimmten Belastungszustand. Man berechnet zunächst die Stabkräfte S und die zugehörigen Längenänderungen

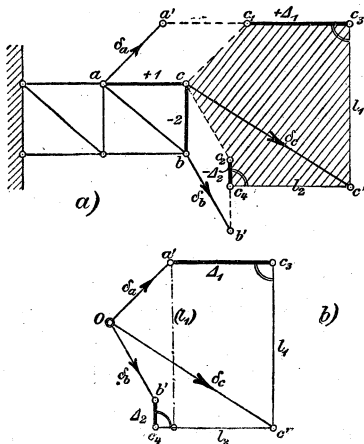
$$\Delta s = \frac{Ss}{EF} + \epsilon s.$$

Dann führt die fortgesetzte Ermittlung der Verschiebung δ_m eines zweistäbig angeschlossenen Knotenpunktes m zur Konstruktion des Verschiebungsplanes.

In Abb. 76a ist der Knoten c durch die Stäbe 1 und 2 an a und b angeschlossen. Die Verschiebungen $\delta_a = aa'$ und $\delta_b = bb'$ sind bereits gefunden, $\delta_c = cc'$ ist noch zu suchen. Die Gesamtbewegung des gezogenen Stabes 1 läßt sich auflösen in eine Parallelverschiebung nach $a'c_1$, eine Verlängerung $\Delta 1 = c_1c_3$ und eine Drehung von

$a'c_3$ nach $a'c'$; die Bewegung des gedrückten Stabes 2 in die Parallelverschiebung nach $b'c_2$, die Verkürzung $\Delta 2 = c_2c_4$ und die Drehung von

Abb. 76.

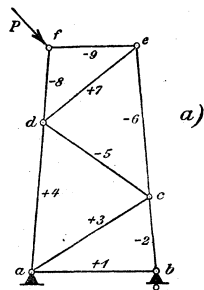


$b'c_4$ nach $b'c'$. Da die Formänderungen im Vergleich zu den Stablängen als verschwindend klein gelten, so können auch die Kreisbögen, die c_3 und c_4 bei der Drehung beschreiben, durch die Tangenten in c_3 und c_4 , d. i. durch die Lote $l_1 = c_3c'$ und $l_2 = c_4c'$, ersetzt werden.

Man zeichnet den schraffierten Teil der Abb. 76a für sich in genügender Vergrößerung (Abb. 76b), indem man von einem Pol O aus die bereits bekannten Verschiebungen δ_a und δ_b aufträgt, daran die Längenänderungen $\Delta 1$ und $\Delta 2$ setzt und die in c_3 und c_4 errichteten Lote l_1 und l_2 in c' zum Schnitt bringt. Die gesuchte Verschiebung δ_c ist gleich dem von O nach c' gerichteten Polstrahl nach Größe, Richtung und Sinn. Die Verschiebung eines neuen, zweistöbig angeschlossenen Knotenpunktes zu finden, fährt man in der gleichen Weise fort. Der so entstehende Plan heißt ein **Williot'scher Verschiebungsplan**. Voraussetzung ist, daß die Verschiebungen zweier Punkte bekannt sind.

Beim Ansetzen der Längenänderungen ist auf das Vorzeichen der betreffenden Spannkraft zu achten. Bei

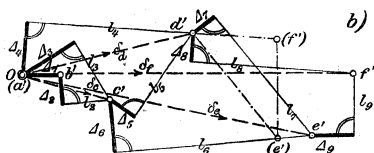
Abb. 77.



Punkt c : Stab 1 ist gezogen, also $\Delta 1$ im Sinne \overrightarrow{ac} einzutragen; Stab 2 ist gedrückt, daher hat $\Delta 2$ den Sinn \overrightarrow{cb} .

Z. B. In Abb. 77a sind die Verschiebungen von a und b bekannt: $\delta_a = 0$, $\delta_b = +11$. a' fällt mit Pol O zusammen, b' liegt um $\Delta 1$ nach rechts. Der Williot'sche Verschiebungsplan (Abb. 77b) liefert fortlaufend nach Eintragung von

$\Delta 2$, $\Delta 3$, l_2 , l_3	die Verschiebung $\delta_c = Oc'$
$\Delta 4$, $\Delta 5$, l_4 , l_5	„ „ $\delta_d = Od'$
$\Delta 6$, $\Delta 7$, l_6 , l_7	„ „ $\delta_e = Oe'$
$\Delta 8$, $\Delta 9$, l_8 , l_9	„ „ $\delta_f = Of'$

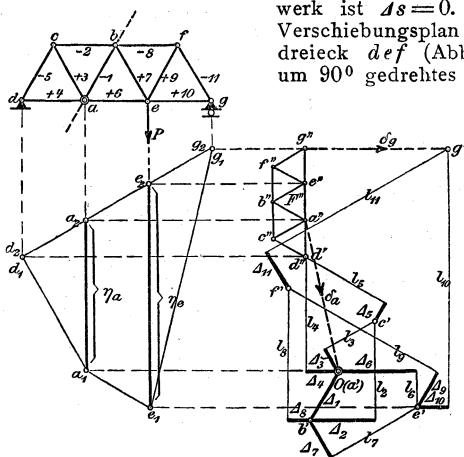


Richtung des Stabes 1). Für die gedachte Stützung wird der Williot'sche Plan gezeichnet. Seine Polstrahlen δ' entsprechen aber nicht den wirklichen Verschiebungen δ . Um diese zu finden, erteilt man den Knoten des unbelasteten Fachwerks noch Verschiebungen δ'' , welche die Auflagerbedingungen erfüllen. δ ist die Resultante aus δ' und δ'' .

Z. B. In Abb. 78 ist Knotenpunkt a und Stabrichtung ab festgehalten gedacht. Im Williot'schen Plan fällt a' mit Pol O zusammen, b' ist im Sinne \overrightarrow{ba} um $\Delta 1 = \delta''_b$ von O entfernt; die weitere Konstruktion gibt $\delta'_c = Oc'$, $\delta'_d = Od'$, ... $\delta'_g = Og'$. Die wirkliche Stützung des Trägers legt aber d fest und führt g wagerecht: $\delta_d = 0$ und $\delta_g =$ einer wäge-

rechten Verschiebung. Demnach muß die Bewegung des unbelasteten Fachwerks so beschaffen sein, daß erstens ihr Verschiebungsplan $\delta''d = -\delta'd$ ergibt, d. h. daß d'' und d' zusammenfallen, und zweitens g'' mit g' auf einer Wagerechten liegt.

Abb. 78.



Für das unbelastete, daher starre Fachwerk ist $\Delta s = 0$. Nun entspräche im Verschiebungsplan einem starren Stabdreieck def (Abb. 77) ein ähnliches, um 90° gedrehtes Dreieck $d'(e')(f')$ und einem starren Stabe 1 ($\Delta l = 0$) sein Lot (l_1) (siehe Abb. 76). Daraus folgt die Konstruktion der Verschiebung δ'' durch die Eintragung einer dem Fachwerk ähnlichen, aber um 90° gedrehten Figur δ'' , deren Punkt d'' mit d' zusammenfällt, während g'' in der Wagerechten durch g' liegt. Die Bedingung $\delta''d = -\delta'd$ sagt, daß die Verschiebungen δ'' nach dem Pol O gerichtet sind;

die δ' gehen vom Pol ab. Die gesuchte wirkliche Verschiebung

δ'_c ist als Resultante aus δ'_c und $\delta''_c = c''c'$;

δ'_a „ „ „ „ „ $\delta'_a = 0$ „ „ $\delta''_a = a''a' = a''O$;

δ'_g „ „ „ „ „ δ'_g „ „ $\delta''_g = g''g'$.

Von besonderem Interesse sind die **lotrechten Durchbiegungen η des Fachwerks**. Sie sind gleich den lotrechten Projektionen der Totalverschiebungen δ' und lassen sich übersichtlich auf den Lotrechten durch die Knotenpunkte angeben. η_e ist Durchbiegung des Knotenpunktes e . Der Linienzug $d_1a_1e_1g_1$ wird die **Biegungslinie des Untergrundes** genannt. Für den Obergurt gilt gleiches.

2. Das Stabzugverfahren.

Auch das Stabzugverfahren liefert die Knotenpunktverschiebungen δ_m eines Fachwerks. Die Figuren sind übersichtlicher als beim Williotischen Verfahren, und genauer, sobald bei diesem die Schnitte der Lote l allzu schleifend ausfallen. Dagegen verlangt das Stabzugverfahren einen größeren Aufwand an Zeit.

Man bestimmt für den Stabzug (Abb. 79) die Stabkräfte S , die Längenänderungen Δs , die Winkeländerungen $\Delta \vartheta$ (s. S. 126) und die Winkel ψ , um welche sich die Stäbe drehen. Der Stab s_1 dreht sich um $\psi_1 = 0$, s_2 um $\psi_2 = \psi_1 + \Delta \vartheta_1, \dots, s_m$ um $\psi_m = \psi_{m-1} + \Delta \vartheta_{m-1}$.

Die Verschiebung δ_m ergibt sich, wenn δ_{m-1} bereits gefunden ist, folgendermaßen (Abb. 79b). Man verschiebt den Stab s_m parallel nach $(m-1)'$, fügt Δs_m an und dreht ihn um ψ_m , wobei m einen Kreisbogen von der Länge $(s_m + \Delta s_m) \psi_m$ beschreibt, an dessen Stelle genügend genau das Lot tritt, weil es sich nur um verschwindend kleine Deformationen handelt. Wie beim Williot'schen Verfahren stellt man den in Abb. 79b schraffierten Teil in größerem Maßstabe und in besonderer Figur als Verschiebungsplan dar (Abb. 79c). Man trägt an den Pol O die Verschiebung δ_{m-1} als Polstrahl $O(m-1)'$ an, fügt Δs_m mit Berücksichtigung des Vorzeichens hinzu, errichtet das Lot $qm = s_m \psi_m$ und erhält m' . Der Polstrahl $Om' = \delta_m$ nach Größe, Richtung und Sinn. Ebenso verfährt man, um δ_{m+1} zu finden. Zu beachten ist beim Auftragen des Lotes qm , daß einem positiven ψ_m

Abb. 79.

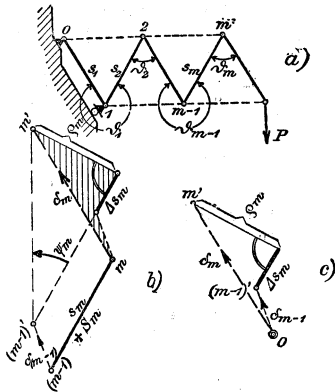
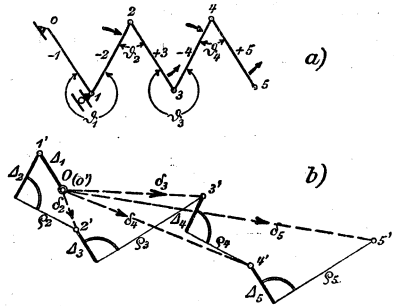


Abb. 80.



in Abb. 79 (s. auch Abb. 80) eine Linksdrehung von s_m entspricht; einem negativen ψ demnach eine Rechtsdrehung.

Der ganze Verschiebungsplan entwickelt sich wie folgt (Abb. 80): O' fällt mit Pol O zusammen; $\delta_1 = \Delta 1 = \text{Polstrahl } O1'$; an $1'$ wird $\Delta 2$ und das Lot ϱ_2 angetragen, wodurch $\delta_2 = \text{Polstrahl } O2'$ gefunden wird; schließlich gibt $\Delta 5$ und ϱ_5 : $\delta_5 = O5'$. ψ_2 und ψ_4 sind positiv, daher erfahren die Stäbe 3 und 5 eine Linksdrehung, wie der ihnen zugeschriebene Pfeil anzeigt; ψ_1 und ψ_3 sind negativ und bedingen die Rechtsdrehung von 2 und 4.

Ist die Auflagerung des Stabzuges eine andere (Abb. 81a), so zeichnet man die Verschiebungen $\delta'_m = Om'$ wie beim Williotplan vorerst für die gedachte Stützung eines beliebigen Punktes und einer durch ihn gehenden Stabrichtung (Abb. 81b) und nimmt dann mit dem unbelasteten und starren Stabzug eine die Auflagerbedingungen erfüllende Verschiebung $\delta''_m = m'O$ vor. Die Totalverschiebung δ_m ist die Resultante von δ'_m und δ''_m ; die lotrechte Durchbiegung η_m

ist die Projektion auf die Lotrechte (s. das gezeichnete Beispiel in Abb. 81 b).

Die Berechnung der Winkeländerungen $\Delta\vartheta$ erfordert die **Ermittlung**

Abb. 81.

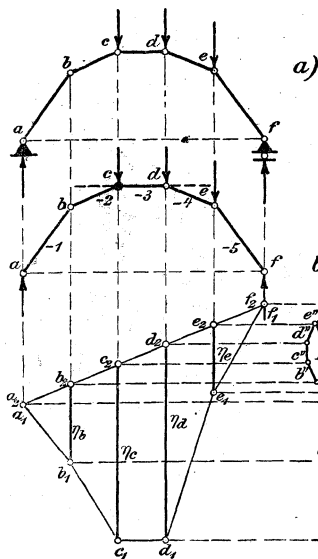
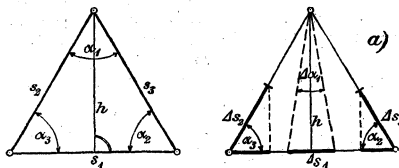


Abb. 82.



der Winkeländerungen eines Stabdreiecks, dessen Stabkräfte bekannt sind (Abb. 82).

Die Winkeländerung $\Delta\alpha_1$ (Abb. 82 a) ergibt sich aus der Beziehung

$$\Delta s_1 = \Delta s_2 \cos \alpha_3 + \Delta s_3 \cos \alpha_2 + \Delta \alpha_1 \cdot h \quad (66)$$

Daraus folgt nach Substitution von

$$\Delta s = \frac{\sigma s}{E},$$

$$s_1 = h (\cotg \alpha_3 + \cotg \alpha_2),$$

$$s_2 = h \frac{1}{\sin \alpha_3}$$

$$\text{und } s_3 = h \frac{1}{\sin \alpha_2}:$$

$$\left. \begin{aligned} E \cdot \Delta \alpha_1 &= (\sigma_1 - \sigma_2) \cotg \alpha_3 + (\sigma_1 - \sigma_3) \cotg \alpha_2 \\ E \cdot \Delta \alpha_2 &= (\sigma_2 - \sigma_3) \cotg \alpha_1 + (\sigma_3 - \sigma_1) \cotg \alpha_3 \\ E \cdot \Delta \alpha_3 &= (\sigma_3 - \sigma_1) \cotg \alpha_2 + (\sigma_3 - \sigma_2) \cotg \alpha_1 \end{aligned} \right\} \quad (67)$$

Diese Formeln gelten auch für Temperaturänderungen; es ist dann $\sigma = \varepsilon E t$ (s. Gleichung 52).

Als Kontrolle dient: $\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2 + \Delta \alpha_3 = 0$, weil auch nach der Deformation $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 180^\circ$ ist.

Die Aenderungen $\Delta\vartheta_m$ der Stabzugwinkel ϑ_m setzen sich aus den Aenderungen $\Delta\alpha$ zusammen. Z. B. soll zu Abb. 83 der Verschiebungsplan der oberen Gurtung gefunden werden. Der Stabzug besteht deshalb nur aus dem Obergurt.

Für $\Delta \vartheta_m$ erhält man:

$$E \cdot \Delta \vartheta_m = (\sigma_2 - \sigma_1) \cotg \alpha_1 + (\sigma_3 - \sigma_2) \cotg \alpha_2 + (\sigma_4 - \sigma_3) \cotg \alpha_3 + (\sigma_4 - \sigma_5) \cotg \alpha_4 + (\sigma_6 - \sigma_5) \cotg \alpha_5 + (\sigma_6 - \sigma_7) \cotg \alpha_6.$$

Abb. 83.

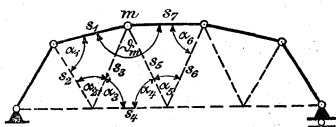
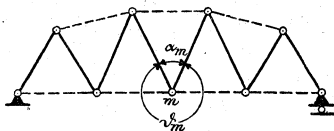


Abb. 84.



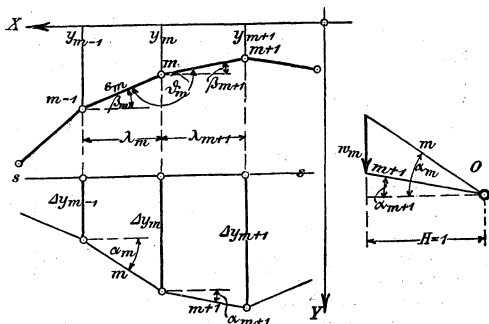
Sind die Verschiebungen sämtlicher Knotenpunkte gesucht, dann müssen alle Knoten im Stabzug liegen (Abb. 84). $\vartheta_m + \alpha_m$ ist $= 360^\circ$ und daraus folgt $\Delta \vartheta_m = -\Delta \alpha_m$.

3. Die Methode der elastischen Gewichte.

Das dritte und schärfste Verfahren zur Darstellung der Knotenpunktverschiebungen, die Methode der w -Gewichte, besteht darin, die Biegelinie als Seilpolygon von in den Knotenpunkten angreifend gedachten Gewichten w zu zeichnen oder zu rechnen. Dieses Verfahren geht davon aus, daß man jedes beliebige Polygon auffassen darf als ein Seilpolygon zu beliebig gerichteten, in bestimmtem Verhältnis stehenden Kräften, deren keine in eine der angrenzenden Polygonseiten fallen darf.

Wird daher die Biegelinie eines Stabzuges als Seilpolygon paralleler Kräfte w aufgefaßt und bedeutet Δy_m die lotrechte Durchbiegung von m (Abb. 85), so muß sein:

Abb. 85.



$$w_m = 1 (\tg \alpha_m - \tg \alpha_{m+1}) = \frac{\Delta y_m - \Delta y_{m-1}}{\lambda_m} - \frac{\Delta y_{m+1} - \Delta y_m}{\lambda_{m+1}} \quad (68)$$

Aus der Abbildung ist die Beziehung zu entnehmen:

$$y_{m-1} - y_m = s_m \sin \beta_m.$$

Nach der Deformation gilt

$$(y_{m-1} + \Delta y_{m-1}) - (y_m + \Delta y_m) = (s_m + \Delta s_m) \sin (\beta_m + \Delta \beta_m).$$

Subtrahiert man diese Gleichung von der vorhergehenden, so folgt nach Wegfall des Gliedes höherer Ordnung

$$\Delta y_m - 1 - \Delta y_m = \Delta s_m \sin \beta_m + s_m \Delta \beta_m \cos \beta_m.$$

Durch Einsetzung von

$$\lambda_m = s_m \cos \beta_m$$

ergibt sich

$$\frac{\Delta y_m - \Delta y_{m-1}}{\lambda_m} = - \frac{\Delta s_m}{s_m} \operatorname{tg} \beta_m - \Delta \beta_m$$

und analog

$$\frac{\Delta y_{m+1} - \Delta y_m}{\lambda_{m+1}} = - \frac{\Delta s_{m+1}}{s_{m+1}} \operatorname{tg} \beta_{m+1} - \Delta \beta_{m+1}.$$

Diese beiden Werte führt man in die Gleichung (68) für w_m ein, beachtet, daß

$$\Delta \vartheta_m = \Delta \beta_{m+1} - \Delta \beta_m$$

ist (Abb. 86), und erhält die **Grundformel für das elastische Gewicht w_m** :

$$w_m = \Delta \vartheta_m - \frac{\Delta s_m}{s_m} \operatorname{tg} \beta_m + \frac{\Delta s_{m+1}}{s_{m+1}} \operatorname{tg} \beta_{m+1} \quad (69)$$

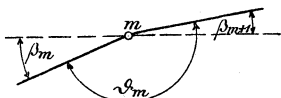
Wird $\frac{\Delta s_m}{s_m} = \frac{\sigma_m}{E}$ gesetzt, so geht die Formel 69 über in die Formel (70) der mit E multiplizierten w -Gewichte:

$$E w_m = E \cdot \Delta \vartheta_m - \sigma_m \cdot \operatorname{tg} \beta_m + \sigma_{m+1} \operatorname{tg} \beta_{m+1} \quad (70)$$

Für Temperaturänderungen ist $\sigma = \epsilon E t$ zu setzen.

Der ganze Rechnungsgang ist folgender: Soll für einen bestimmten Belastungszustand des Fachwerks die Biegelinie konstruiert werden,

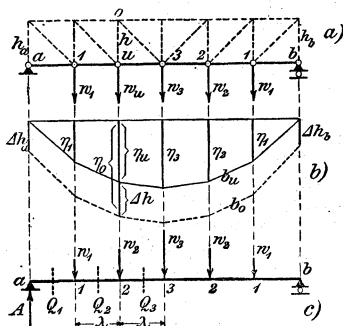
Abb. 86.



so berechnet man die Spannkraft S , daraus σ , $\Delta \vartheta$ und die w -Gewichte, zu welchen die Biegelinie als Seilpolygon gezeichnet oder gerechnet wird. Die Auflagerbedingungen bestimmen die Lage der Schlußlinie ss (Abb. 85), indem sie die Größe zweier Δy festlegen.

Wird z. B. die Biegelinie eines wagerechten Untersturzes verlangt (Abb. 88a), so sind alle $\beta = 0$; $w_m = \Delta \vartheta_m$. Die Schlußlinie s (Abb. 88b) ist durch die Auflagerbedingungen, daß a und b keine lotrechten Verschiebungen erleiden sollen, gegeben. Zur Ermittlung der Biegelinie des Obersturzes läßt man den Stabzug mit diesem zusammenfallen (Abb. 83). Sind sämtliche Knotenpunktverschiebungen darzustellen, dann wird ein Diagonalenstabzug eingeführt (Abb. 84).

Abb. 87.



Stehen einzelne Wandglieder vertikal (Abb. 87a), fallen also die Richtungen einzelner w -Gewichte in eine angrenzende Seite des Stabzuges, dann versagt das Verfahren, weil $\beta = 90^\circ$ und $w = \infty$ wird. Man hilft sich (Abb. 87b), indem man die Biegelinie b_u nur einer Gurtung, etwa des Untergurtes, mit Hilfe der w -Gewichte zeichnet und die Längenänderungen Δh der Vertikalen zu η_u hinzuzählt, denn es ist $\eta_o = \eta_u + \Delta h$. Die Vertikale ist im vorliegenden Falle gedrückt.

Man achte auf die **Anordnung der Maßstäbe**.

Nach Gleichung (69) erhält man die w -Gewichte als Zahlen. Infolge einer Polweite $H=1$, gemessen im Zahlenmaßstabe der elastischen Gewichte, ergeben sich die Durchbiegungen im Längenmaßstabe der Systemzeichnung; in Abb. 88b z. B. 1:300. Polweite $H=1:300$ (Abb. 88c) liefert die Verschiebungen in natürlicher GröÙe 1:1; Polweite $H=1:(300 \cdot 50)$ in Abb. 88d in 50-facher Vergrößerung 50:1. Rechnet man nach Gleichung (70) mit den mit E multiplizierten elastischen Gewichten, die in kg/qcm ausgedrückt sind, dann arbeitet man auch mit der Polweite EH kg/qcm (Abb. 88e).

Zumeist empfiehlt es sich, das **Seilpolygon zu rechnen**, indem man die Durchbiegungen η als Ordinaten der Culmannschen Momentenfläche ansieht. Aus Abb. 88b folgt dann

$$1. \eta_m = M_m,$$

gleich dem Biegemoment an der Stelle m eines einfachen Balkens von der Stützweite l . Dies ist von allen Verfahren zur Ermittlung der lotrechten Durchbiegungen das genaueste.

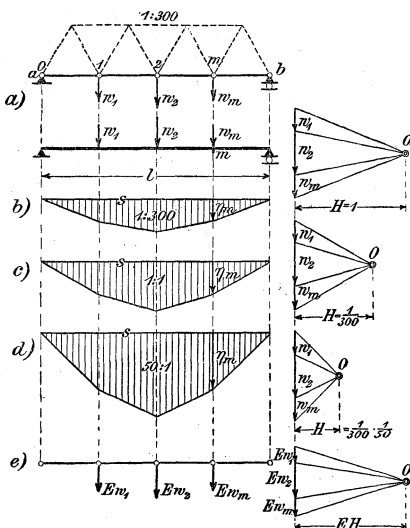
Bei symmetrischer Verteilung der w -Gewichte und konstanten Abständen λ ist die Rechnung besonders einfach (Abb. 87c). Man beachte:

$$M_m - M_{m-1} = Q_m \lambda_m$$

bzw.

$$\frac{M_m}{\lambda_m} = \frac{M_{m-1}}{\lambda_m} + Q_m.$$

Abb. 88.



Es ist

$$Q_3 = A - w_1 - w_2 = \frac{1}{2} w_3$$

$$Q_2 = Q_3 + w_2 = \frac{1}{2} w_3 + w_2$$

$$Q_1 = Q_2 + w_1 = \frac{1}{2} w_3 + w_2 + w_1 = A$$

und

$$\frac{M_1}{\lambda} = \frac{M_0}{\lambda} + Q_1 = Q_1$$

$$\frac{M_2}{\lambda} = \frac{M_1}{\lambda} + Q_2 = Q_1 + Q_2$$

$$\frac{M_3}{\lambda} = \frac{M_2}{\lambda} + Q_3 = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Die Durchbiegungen des Untergurts (Abb. 87a) sind demnach

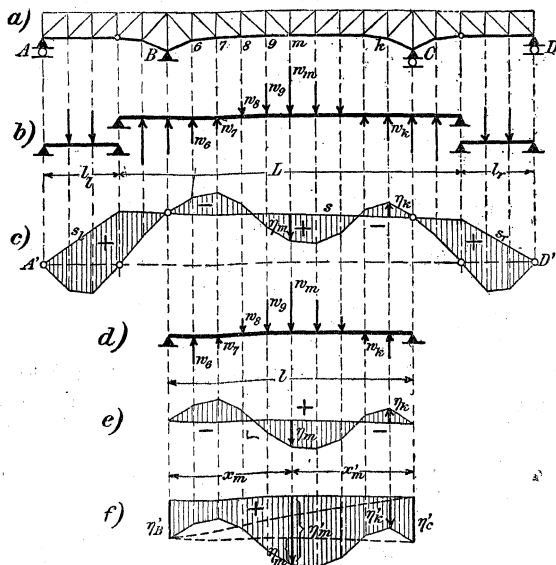
$$\eta_1 = M_1 = Q_1 \lambda$$

$$\eta_2 = M_2 = (Q_1 + Q_2) \lambda$$

$$\eta_3 = M_3 = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \lambda.$$

Ist der Träger ein Gerberscher Balken (Abb. 89a) und sollen die Durchbiegungen der unteren Gurtung angegeben werden, so be-

Abb. 89.



stimmt man für die drei mit den w -Gewichten belasteten einfachen Balken l_b , L und l_r (Abb. 89b) die Culmannschen Momentenflächen, die von der Geraden $A'D'$ und der Biegelinie eingeschlossen werden. Die lotrechten Durchbiegungen aber sind zu messen zwischen der Biegelinie und der gebrochenen Schlußlinie s_b , s , s_r , die den Auflagerbedingungen $\eta_A = \eta_B = \eta_C = \eta_D = 0$ gerecht wird. Die Verschiebung des Knotens m erfolgt um η_m nach unten; die des Punktes k um η_k nach oben (Abb. 89c).

Hätte es sich nur darum gehandelt, die Durchbiegungen in der Mittelöffnung festzustellen, dann genügte es, einen einfachen Balken von der Stützweite l mit den gleichen elastischen Gewichten zu belasten (Abb. 89d); die Ordinaten der Momentenfläche sind gleich den gesuchten Verschiebungen (Abb. 89e). Erleiden die Stützpunkte B und C infolge der Nachgiebigkeit der Widerlager nach unten gerichtete Verschiebungen η'_B und η'_C (Abb. 89f), so sind die Knotenpunktverschiebungen

$$\eta'_m = \eta_m + \eta'_B \frac{x'_m}{l} + \eta'_C \frac{x_m}{l}.$$

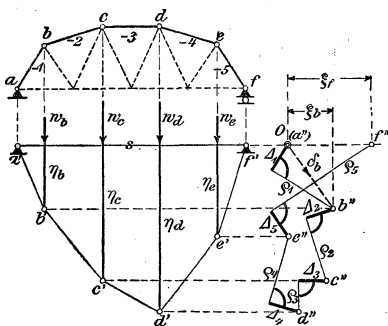
Ebenso kann man für ein lm weites Mittelfeld eines kontinuierlichen Balkens die Biegelinie als Momentenpolygon eines mit den entsprechenden Gewichten w belasteten einfachen Balkens von der Stützweite l finden.

Wenn die wirklichen Verschiebungen d_m gesucht werden (Abb. 90), zeichnet man zuerst die Biegelinie, dann einen Stabzugplan. Man projiziert die Durchbiegungen η_m parallel zur wagerechten Schlußlinie s und wählt auf s einen Pol O ; a'' fällt mit O zusammen, weil $d_a = 0$ ist; die Längenänderungen Δs und die Lote ρ schließen sich der Reihe nach so an, daß die η_m als lotrechte Projektionen der d_m erscheinen. Gleichzeitig erhält man die wagerechten Knotenpunktverschiebungen ξ_m . Die Lote ρ brauchen nicht gerechnet zu werden.

Die Berechnung der w -Gewichte irgend einer aus einfachem Dreiecknetz bestehenden Trägerart erfolgt am raschesten und einfachsten nach dem Verfahren von Müller-Breslau.*)

Die Werte w treten dabei nur als Funktionen der Längenänderungen Δs auf; die Winkeländerungen $\Delta \vartheta$ brauchen nicht ermittelt zu werden.

Abb. 90.



*) S. Müller-Breslau, Die graphische Statik der Baukonstruktionen, 2. Bd., 1. Abt., 4. Aufl. S. 104 u. f.

Man bringt an einem Dreieck des Fachwerks die im Gleichgewicht befindlichen, gedachten Belastungen $\frac{1}{\lambda_m}$, $\frac{1}{\lambda_{m+1}}$ und $\frac{1}{\lambda_m} + \frac{1}{\lambda_{m+1}}$ an (Abb. 91c) und stellt für diesen willkürlichen Belastungszustand $\frac{1}{\lambda}$ mit den Spannkraften μ (Abb. 91c und d) und für den wirklichen Formänderungszustand (Δs und η) (Abb. 91a und b) die Arbeitsgleichung (50) auf. Das gibt mit Beachtung von Gleichung (68) für das elastische Gewicht eines unteren Knotenpunktes m das sehr bequeme Resultat:

$$w_m = \sum \mu \Delta s \dots \dots \dots (71)$$

Die Spannkraften μ lassen sich aus einem Kräfteplan (Abb. 91d) ablesen oder wie folgt berechnen. Der Belastungszustand $\frac{1}{\lambda}$ erzeugt die Knotenpunktmomente

$$M_{m-1} = 0, \quad M_m = 1 \quad \text{und} \quad M_{m+1} = 0$$

Abb. 91.

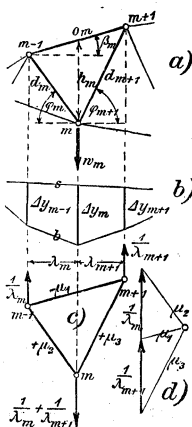


Abb. 92.

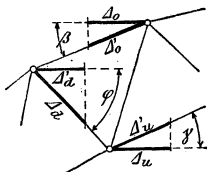
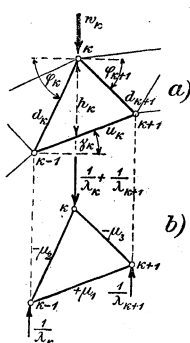


Abb. 93.



und die Stabkräfte

$$\mu_1 = -\frac{1}{h_m} \sec \beta_m,$$

$$\mu_2 = \frac{1}{h_m} \sec \varphi_m \quad \text{und}$$

$$\mu_3 = \frac{1}{h_m} \sec \varphi_{m+1},$$

die sich aus den allgemeinen Formeln (15) auf S. 92 ergeben. Daraus folgt, wenn

$$\Delta o \cdot \sec \beta = \Delta' o \quad \text{und} \quad \Delta d \sec \varphi = \Delta' d \dots \dots (72)$$

gesetzt wird (Abb. 92), das w -Gewicht

$$w_m = \frac{-\Delta' o_m + \Delta' d_m + \Delta' d_{m+1}}{h_m} \dots \dots (73)$$

Analog gilt für einen oberen Knotenpunkt k (Abb. 93)

$$w_k = \frac{\Delta' u_k - \Delta' d_k - \Delta' d_{k+1}}{h_k} \dots \dots (74)$$

Dient die Biegelinie der Berechnung statisch unbestimmter Systeme, so kann der Einfluß der Füllungsstäbe vernachlässigt und das w -Gewicht vereinfacht werden:

$$w_m = -\frac{\Delta' o_m}{h_m} \quad \text{und} \quad w_k = \frac{\Delta' u_k}{h_k} \quad \dots \quad (73a, 74a)$$

Bei Bogenbrücken kann es vorkommen, daß der Neigungswinkel φ mehrerer Diagonalen ein stumpfer wird (Abb. 94); man achte darauf, daß der fragliche Wert $\Delta'd$ das Vorzeichen wechselt, sobald $\sec \varphi$ negativ wird. h_m ist zwischen m und der Richtung $(m-1)$ $(m+1)$ zu messen! Beim Zeichnen des Seilpolygons ist die unregelmäßige Reihenfolge der elastischen Gewichte zu berücksichtigen.

Die Gleichungen (73) bis (74a) für die w -Gewichte haben keine Gültigkeit für Fachwerke mit Vertikalen, weil $\sec 90^\circ = \infty$ ist. Man benutzt dann die folgenden, auf ähnlichem Wege abgeleiteten Formeln, die, unverkürzt, den Einfluß sämtlicher Stäbe berücksichtigen, vereinfacht, den der Füllungsstäbe vernachlässigen. In den Abb. 95 bis 98 sind die bei dem jeweiligen Belastungszustand $\frac{1}{\lambda}$ beanspruchten und daher zum w -Gewicht beitragenden Stäbe kräftiger ausgezogen.

Gewichte w für einen unteren Knotenpunkt:

a) Linkssteigende Diagonalen (Abb. 95a)

$$w_m = \frac{1}{h_m} \left(-\Delta' o_m + \Delta' u_{m+1} + \Delta' d_m - \Delta' d_{m+1} - \Delta' h_{m-1} \frac{h_m}{\lambda_m} + \Delta' h_m \frac{h_{m+1}}{\lambda_{m+1}} \right) \dots \quad (75)$$

vereinfacht
$$w_m = \frac{1}{h_m} (-\Delta' o_m + \Delta' u_{m+1}) \dots \quad (75a)$$

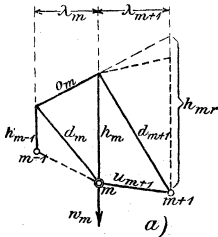
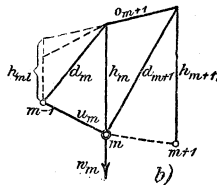


Abb. 95.



b) Rechtssteigende Diagonalen (Abb. 95b)

$$w_m = \frac{1}{h_m} \left(-\Delta' o_{m+1} + \Delta' u_m - \Delta' d_m + \Delta' d_{m+1} - \Delta' h_{m+1} \frac{h_m}{\lambda_{m+1}} + \Delta' h_m \frac{h_{m+1}}{\lambda_m} \right) \dots \quad (76)$$

b) Rechtssteigende Diagonalen (Abb. 97b)

$$w_m = \frac{1}{h_m} \left(-\Delta' o_{m+1} + \Delta' u_m - \Delta' d_m + \Delta' d_{m+1} + \Delta h_{m-1} \frac{h_m}{\lambda_m} - \Delta h_m \frac{h_{m+1}}{\lambda_{m+1}} \right) \quad (80)$$

vereinfacht $w_m = \frac{1}{h_m} (-\Delta' o_{m+1} + \Delta' u_m) \quad (80a)$

c) Links—rechts steigende Diagonalen (Abb. 98a)

$$w_m = \frac{1}{h_m} [-\Delta' o_m - \Delta' o_{m+1} + \Delta' d_m + \Delta' d_{m+1} - \Delta h_m (\operatorname{tg} \varphi_m + \operatorname{tg} \varphi_{m+1})] \quad (81)$$

vereinfacht $w_m = \frac{1}{h_m} (-\Delta' o_m - \Delta' o_{m+1}) \quad (81a)$

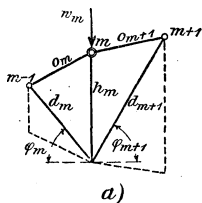
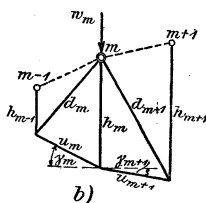


Abb. 98.



d) Rechts—links steigende Diagonalen (Abb. 98b)

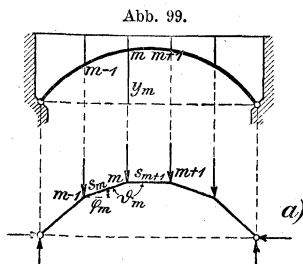
$$w_m = \frac{1}{h_m} \left[\Delta' u_m + \Delta' u_{m+1} - \Delta' d_m - \Delta' d_{m+1} + \Delta h_{m-1} \frac{h_m}{\lambda} - \Delta h_m (\operatorname{tg} \gamma_m - \operatorname{tg} \gamma_{m+1}) + \Delta h_{m+1} \frac{h_{m+1}}{\lambda_{m+1}} \right] \quad (82)$$

vereinfacht

$$w_m = \frac{1}{h_m} (\Delta' u_m + \Delta' u_{m+1}) \quad (82a)$$

4. Darstellung der Formänderungen vollwandiger Stäbe.

Die Achse eines biegefesten Stabes (Abb. 99) wird durch ein Polygon ersetzt (Abb. 99a), so daß ein Stabzug mit starren Knoten entsteht, auf dessen Ecken die Lasten wirken. Das für den gelenkigen Stabzug gültige Verfahren erleidet eine entsprechende Abänderung.



Die Grundformel für das elastische Gewicht w ist nach Gleichung (69)

$$w_m = \Delta \vartheta_m - \frac{\Delta s_m}{s_m} \operatorname{tg} \varphi_m + \frac{\Delta s_m + 1}{s_m + 1} \operatorname{tg} \varphi_{m+1}.$$

Im vorliegenden Falle verhalten sich die Stabstücke $(m-1)m$ wie beiderseits von Einspannungsmomenten M_{m-1} und M_m erfaßte und gebogene Stäbe (Abb. 100a). Diese Momente erzeugen an irgend einer Stelle im Stabe s_m die Querkraft

$$Q_m = \frac{M_m - M_{m-1}}{s_m}.$$

Die Winkeländerung am Knoten wird (Abb. 100)

$$\Delta \vartheta_m = \alpha_m + \beta_m.$$

Es ist (s. I. Bd. 4. Abschn. Festigkeitslehre II, D.), wenn J_m einen Mittelwert für das Trägheitsmoment des Stabes s_m bedeutet (Abb. 100a),

$$s_m \beta_m = \int_0^{s_m} \frac{M x dx}{E J_m} \dots \dots \dots (83)$$

woraus sich ergibt

$$\beta_m = \frac{M_{m-1} + 2 M_m}{6 E J_m} s_m \text{ und analog } \alpha_m = \frac{M_{m+1} + 2 M_m}{6 E J_{m+1}} s_{m+1}. \quad (84a)$$

Abb. 100.

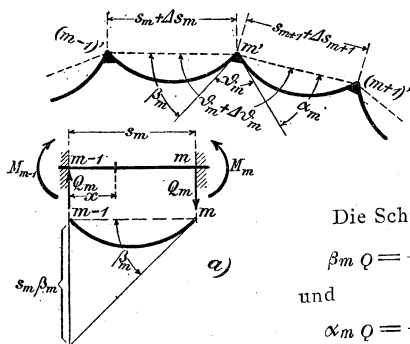
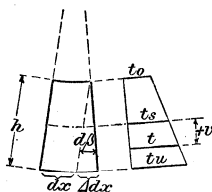


Abb. 101.



Die Schubkräfte Q liefern den Beitrag

$$\beta_m Q = \frac{M_m - M_{m-1}}{G \cdot F_s s_m s_m}$$

und

$$\alpha_m Q = \frac{M_m - M_{m+1}}{G \cdot F_s (m+1) s_{m+1}} \quad (84b)$$

worin G den Gleitmodul und F_s den Stehblechquerschnitt des fraglichen Stabteiles bezeichnet (s. I. Bd. 4. Abschn. Festigkeitslehre II, D.).

Ist der Stab einer ungleichmäßigen Temperaturänderung ausgesetzt, so folgt gemäß Abb. 101

$$\Delta dx = \varepsilon (t_u - t_o) dx = h \cdot d\beta,$$

und es wird

$$s \cdot \beta_t = \int_0^s \frac{\varepsilon (t_u - t_o) x dx}{h} = \varepsilon (t_u - t_o) \frac{s^2}{2h} \quad (83a)$$

Die Ausschlagwinkel werden daher beeinflusst mit

$$\left. \begin{aligned} \beta_{mt} &= \varepsilon (t_{um} - t_{om}) \frac{s_m}{2 h_m} \quad \text{und} \\ \alpha_{mt} &= \varepsilon (t_{u(m+1)} - t_{o(m+1)}) \frac{s_{m+1}}{2 h_{m+1}} \end{aligned} \right\} \quad (84c)$$

Bei einer positiven Achsialkraft N und einer Temperaturänderung t_s für die Stabachse wird

$$\frac{\Delta s_m}{s_m} = \frac{N_m}{E F_m} + \varepsilon t_{sm} \dots \dots \dots (84d)$$

Demnach setzen sich **die elastischen Gewichte für den biege-
festen Stabzug** wie folgt zusammen:

$$\left. \begin{aligned} w_m &= \frac{M_m - 1 + 2 M_m}{6 E J_m} s_m + \frac{M_{m+1} + 2 M_m}{6 E J_{m+1}} s_{m+1} \\ &+ \frac{M_m - M_{m-1}}{G \cdot F_s s_m} + \frac{M_m - M_{m+1}}{G F_s (m+1) s_{m+1}} \\ &+ \varepsilon (t_{um} - t_{om}) \frac{s_m}{2 h_m} + \varepsilon (t_{u(m+1)} - t_{o(m+1)}) \frac{s_{m+1}}{2 h_{m+1}} \\ &- \left(\frac{N_m}{E F_m} + \varepsilon t_{sm} \right) \operatorname{tg} \varphi_m + \left(\frac{N_{m+1}}{E F_{m+1}} + \varepsilon t_{s(m+1)} \right) \operatorname{tg} \varphi_{m+1} \end{aligned} \right\} \quad (84)$$

Nach Berechnung der w -Gewichte ermittelt man die lotrechten Durchbiegungen η oder die wirklichen Verschiebungen δ des biegefesten Stabzuges in der gleichen Weise wie für den gelenkigen Stabzug (S. 127 u.f.). Werden die Biegun-
gslinien zur Untersuchung statisch unbestimmter Größen X verwertet, dann kann man die Beiträge von Q und N zum w -Gewicht aufser acht lassen.

Wenn die Stabstücke s unendlich klein werden, erhält man den stetig gekrümmten Stab (Abb. 102); es wird

$$\begin{aligned} s_m &= s_{m+1} = ds, & J_m &= J_{m+1} = J, \\ M_{m-1} &= M_m = M_{m+1} = M, \end{aligned}$$

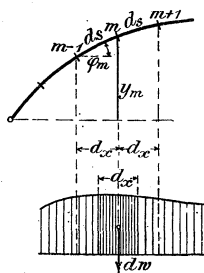
und bei Vernachlässigung der Schub- und Achsialkräfte folgt

$$dw = \frac{M}{EJ} ds + \varepsilon \frac{t_u - t_o}{h} ds + \varepsilon d(t_s \operatorname{tg} \varphi) \dots \dots (85)$$

Die Biegelinie des stetig gekrümmten Bogens ist daher das Seilpolygon zu den w -Gewichten:

$$dw = \frac{M}{EJ \cos \varphi} dx + \varepsilon \frac{t_u - t_o}{h \cos \varphi} dx + \varepsilon t_s \frac{d^2 y}{dx^2} dx \quad (85a)$$

Abb. 102.



Aus dem Bogen geht der **einfache vollwandige Balken** hervor, wenn $q=0$ wird. Der Einfluß der Achsialkräfte verschwindet, und das elastische Gewicht nimmt die Form an:

$$dw = \frac{M}{EJ} dx + \varepsilon \frac{t_u - t_o}{h} dx \quad . \quad . \quad . \quad (86)$$

d. h. man findet die Durchbiegung oder die elastische Linie des einfachen vollwandigen Balkens, indem man zu einer Belastungsfläche mit den Ordinaten $\frac{dw}{dx}$ das Seilpolygon ermittelt. Man rechnet mit den endlichen Gewichten

$$w = \frac{dw}{dx} \lambda = \frac{M}{EJ} \lambda + \varepsilon \frac{t_u - t_o}{h} \lambda \quad . \quad . \quad . \quad (86a)$$

Die Polweite 1 läßt die Durchbiegungen η im Längenmaßstab des Trägerbildes erscheinen (Abb. 103). Bezüglich der Maßstäbe gilt das auf S. 129 Gesagte.

Für den Balken veränderlichen Querschnitts ist es besser, die Belastungsordinaten w und die Polweite H mit EJ_c zu multiplizieren — unter J_c ein beliebiges konstantes Trägheitsmoment verstanden; man erhält

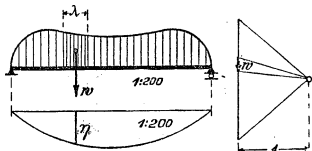
$$dw = M \frac{J_c}{J} dx + \varepsilon EJ_c \frac{t_u - t_o}{h} dx \quad . \quad . \quad . \quad (87)$$

und die endlichen Gewichte

$$w = M \frac{J_c}{J} \lambda + \varepsilon EJ_c \frac{t_u - t_o}{h} \lambda \quad . \quad . \quad . \quad (87a)$$

(S. auch I. Bd. 4. Abschn. Festigkeitslehre II, D.) Den Einfluß der Schubkräfte auf die Durchbiegung zu beurteilen, genügt es meistens, eine Ordinate für die Balkenmitte auszurechnen nach der Formel

Abb. 103.

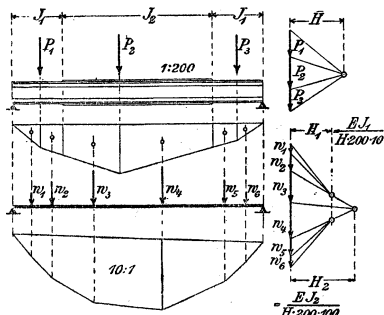


(s. I. Bd. 4. Abschn. Festigkeitslehre II, D.)

$$\eta = \frac{M_{\max}}{G \cdot F_s} \quad (88)$$

worin M_{\max} das für den fraglichen Belastungsfall entstehende größte Moment des einfachen Balkens ist, G der Gleitmodul, F_s der Stehblechquerschnitt. Das gilt nicht nur für den einfachen Balken, sondern auch für den auf einer Seite eingespannten, auf der

Abb. 104.



anderen beweglich gelagerten, für den beiderseits eingespannten und für eine Oeffnung des kontinuierlichen Balkens.

Ist für einen Balken mit veränderlichem Querschnitt die Biegelinie nur infolge der Momente verschiedener Belastungsfälle gesucht, dann ist es besser, als Belastungsfläche die jeweilige Momentenfläche zu wählen und das Seilpolygon mit verschiedenen Polweiten $1 EJ_m$ zu zeichnen. Die mit der Polweite H gezeichnete Momentenfläche in Abb. 104 wird nach ihren Ecken und nach den verschiedenen Werten J des Balkens in Trapeze geteilt, deren Inhalt als Gewicht w anzusehen ist. Dann zeichnet man für jedes Balkenstück gleichen Trägheitsmomentes das Seilpolygon mit der zugehörigen Polweite $H_m = \frac{EJ_m}{H \cdot 200 \cdot 10}$, um die Durchbiegungen in 10facher Vergrößerung zu erhalten.

Man beachte, daß bei Berechnung der Durchbiegungen die Trägheitsmomente J ohne Abzug der Nietlöcher gerechnet werden.

C. Das Castiglianosche Prinzip der kleinsten Formänderungsarbeit.

Für ein statisch unbestimmtes Fachwerk auf starren Stützen ist nach Gleichung (54):

$$S = S_0 - X_a S_a - X_b S_b - \dots$$

und nach Gleichung (56) und (57):

$$\Sigma S_a \Delta s = 0, \quad \Sigma S_b \Delta s = 0, \dots \dots \dots (89)$$

Differenziert man die erste Gleichung partiell, so erhält man die Ausdrücke:

$$\frac{\partial S}{\partial X_a} = -S_a, \quad \frac{\partial S}{\partial X_b} = -S_b, \dots$$

Die Gleichungen 89 gehen damit über in

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial X_a} &= \Sigma \frac{\partial S}{\partial X_a} \Delta s = \Sigma \frac{\partial S}{\partial X_a} \left(\frac{S_s}{EF} + \epsilon t s \right) = 0 \\ \frac{\partial A}{\partial X_b} &= \Sigma \frac{\partial S}{\partial X_b} \Delta s = \Sigma \frac{\partial S}{\partial X_b} \left(\frac{S_s}{EF} + \epsilon t s \right) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (90)$$

worin

$$A = \Sigma \frac{S_s^2}{2EF} + \Sigma \epsilon t S_s \dots \dots \dots (91)$$

d. h. gleich der wirklichen Formänderungsarbeit des Fachwerks (s. I. Bd. 4. Abschn. Festigkeitslehre I, A.). Der in Gleichung (90) enthaltene **Castiglianosche Satz** lautet: Bei starren Stützen sind die statisch unbestimmten Größen so zu bestimmen, daß sie die wirkliche Formänderungsarbeit A des Fachwerks zu einem Minimum machen.

Die Anwendung der Arbeitsgleichung (50) auf einen statisch bestimmten Träger (S. 119, Abb. 74) ergab für die Verschiebung δ_m :

$$1. \delta_m = \Sigma \bar{S} \Delta s.$$

Die wirklichen Stabkräfte sind $S = S_1 P_1 + S_2 P_2 + \dots$, worin S_m einem Belastungszustand $P_m = 1$ entspricht. Die partielle Differentiation liefert

$$\frac{\partial S}{\partial P_1} = S_1, \dots, \frac{\partial S}{\partial P_m} = S_m = \bar{S},$$

womit sich die Gleichung für δ_m umformen läßt in

$$\delta_m = \Sigma \frac{\partial S}{\partial P_m} \Delta s = \frac{\partial A}{\partial P_m} \dots \dots \dots (92)$$

Der entsprechende **Castiglianosche Satz** heißt: Bei starren Stützen ist die Verschiebung δ_m des Angriffspunktes von P_m gleich der nach P_m gebildeten teilweise Abgeleiteten der wirklichen Formänderungsarbeit des statisch bestimmten Hauptnetzes.

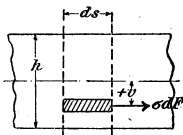
Das Castiglianosche Prinzip eignet sich nur zur Untersuchung fester und einfacher Belastungszustände. Handelt es sich um Einflußlinien, so benutze man die Elastizitätsgleichungen (58a) und (63a) auf S. 121.

Man achte bei der Anwendung der Castiglianoschen Sätze (siehe die folgenden Beispiele unter V, D.), daß zunächst die Gleichgewichtsbedingungen befriedigt werden.

D. Uebergang vom Fachwerk zum vollwandigen Stabwerk.

Das Prinzip der virtuellen Verschiebungen (Gleichung 50) gilt für beliebige isotrope Körper (s. I. Bd. S. 174). Daher steht der für das Fachwerk gültigen Beziehung

Abb. 105.



$$\Sigma \bar{Q} \delta = \Sigma \frac{\bar{S} S s}{EF} + \Sigma \epsilon t \bar{S} s$$

bei dem achsial beanspruchten Stabwerk die Gleichung gegenüber

$$\Sigma \bar{Q} \delta = \int \frac{\bar{\sigma} \sigma}{E} dV + \int \epsilon t \bar{\sigma} dV,$$

worin (s. Abb. 105) σ die Normalspannung eines Querschnittselements dV des Stabes, $dV = dF \cdot ds$ und ds die zwischen zwei Querschnitten als konstant angeschene Länge eines Stabteilchens ist. Es entsprechen einander

für das Fachwerk

für das Stabwerk

$$\delta_{mq} = \Sigma S_0 S_q \frac{s}{EF}$$

$$\int \sigma_0 \sigma_q \frac{dV}{E} \dots \dots \dots (93)$$

$$\delta_{pq} = \Sigma S_p S_q \frac{s}{EF}$$

$$\int \sigma_p \sigma_q \frac{dV}{E} \dots \dots \dots (94)$$

$$\delta_{pt} = \Sigma \epsilon t S_p s$$

$$\int \epsilon t \sigma_p dV \dots \dots \dots (95)$$

ebenso die Ausdrücke für die wirkliche Formänderungsarbeit

$$A = \Sigma \frac{S^2 s}{2 E F} + \Sigma \epsilon t S s \quad \text{bzw.} \quad \int \frac{\sigma^2 dV}{2 E} + \int \epsilon t \sigma dV. \quad (96)$$

Wirkt auf den Stabquerschnitt aufer der Achsialkraft N noch ein Moment M , so ist im Abstände v von der Stabachse

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M v}{J}, \quad \text{wo}$$

$$N = \int \sigma dF \quad \text{und} \quad M = \int \sigma dF v \quad \dots \quad (97)$$

ist.

Es folgt dann, weil für den jeweiligen Belastungszustand

$$\sigma_p = \frac{N_p}{F} + \frac{M_p}{J} v \quad \text{und}$$

$$\sigma_q = \frac{N_q}{F} + \frac{M_q}{J} v \quad \text{ist,}$$

$$\delta m_q = \int \frac{N_0 N_q}{E F} ds + \int \frac{M_0 M_q}{E J} ds \quad \dots \quad (93a)$$

$$\delta p_q = \int \frac{N_p N_q}{E F} ds + \int \frac{M_p M_q}{E J} ds \quad \dots \quad (94a)$$

Das Temperaturglied wird mit Rücksicht auf ungleichmäßige Erwärmung des Stabes — im Abstände v von der Stabachse (Abb. 101) ist

$$t = t_s + \frac{t_u - t_o}{h} v -$$

$$\delta_p t = \int \epsilon t_s N_p ds + \int \epsilon \frac{t_u - t_o}{h} M_p ds \quad \dots \quad (95a)$$

Daraus ergibt sich für die wirkliche Formänderungsarbeit

$$A = \int \frac{N^2 ds}{2 E F} + \int \frac{M^2 ds}{2 E J} + \int \epsilon t_s N ds + \int \epsilon \frac{t_u - t_o}{h} M ds \quad (96a)$$

Für den des öftern vorliegenden Fall der Berechnung eines statisch unbestimmten Systems, das sowohl aus fachwerkartigen als auch aus vollwandigen Teilen besteht (Abb. 106 z. B., Zweigelenbogen mit sehr geringer Konstruktionshöhe im Scheitel), benutzt man die Elastizitätsgleichungen (63a, S. 121), schreibt aber die Verschiebungen in folgender Form; hierbei gelten die Summen für die Stäbe des Fachwerks, die Integrale für die vollwandigen Teile

Abb. 106



$$\delta m_q = \Sigma S_0 S_q \frac{s}{E F} + \int \frac{N_0 N_q}{E F} ds + \int \frac{M_0 M_q}{E J} ds \quad (93b)$$

$$\delta p_q = \Sigma S_p S_q \frac{s}{E F} + \int \frac{N_p N_q}{E F} ds + \int \frac{M_p M_q}{E J} ds \quad (94b)$$

$$\delta_p t = \Sigma \epsilon t S_p s + \int \epsilon t_s N_p ds + \int \epsilon \frac{t_u - t_o}{h} M_p ds \quad \dots \quad (95b)$$

Die Formänderungsarbeit nimmt den Wert an:

$$A = \sum \frac{S^2 s}{2 EF} + \int \frac{N^2 ds}{2 EF} + \int \frac{M^2 ds}{2 EJ} \\ + \sum \varepsilon t S s + \int \varepsilon t_s N ds + \int \varepsilon \frac{t_u - t_o}{h} M ds \quad . \quad (96b)$$

Nach dem Satz vom Minimum der Deformationsarbeit ergibt sich bei starren Widerlagern

$$0 = \frac{\partial A}{\partial X} = \sum \frac{S s}{EF} \frac{\partial S}{\partial X} + \int \frac{N}{EF} \frac{\partial N}{\partial X} ds + \int \frac{M}{EJ} \frac{\partial M}{\partial X} ds \\ + \sum \varepsilon t s \frac{\partial S}{\partial X} + \int \varepsilon t_s \frac{\partial N}{\partial X} ds + \int \varepsilon \frac{t_u - t_o}{h} \frac{\partial M}{\partial X} ds \quad (98)$$

IV. PARABELFÖRMIGE EINFLUSSLINIEN. *)

Ist die Einflußlinie einer Größe Y eine Parabel vom Pfeile z und der Weite u (Abb. 107), dann ist die Wirkung des Lastenzuges

$$Y = \sum_1^u P \eta = \frac{4z}{u^2} \sum_1^u P (a' + d) (b' - d).$$

Mit $\sum_1^u P d = 0$ und den Bezeichnungen $\mathfrak{P}_u = \sum_1^u P$ und $\mathfrak{L}_u = \sum_1^u P d^2$ erhält man

$$Y_{\max} = P_i z \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (99)$$

Die Last

$$P_i = \mathfrak{P}_u - \frac{\mathfrak{L}_u}{\left(\frac{u}{2}\right)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (100)$$

Abb. 107.

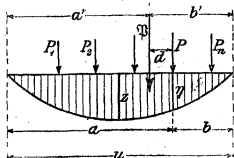
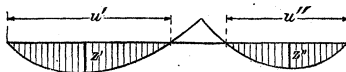


Abb. 108.



erzeugt also, in $\frac{u}{2}$ stehend, dasselbe Y_{\max} wie der vorgeschriebene Lastenzug.

Sind zwei parabelförmige Beitragsstrecken u' und u'' durch eine entgegengesetzten Vorzeichens getrennt (Abb. 108), so rechnet man

$$Y_{\max} = P_i^{u'} z' + P_i^{u''} z'' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (101)$$

*) Müller-Breslau, Graphische Statik der Baukonstruktionen, Bd. II, 2. Abteilung, Abschnitt VI.

Tabelle der Werte P_i für parabelförmige Einfluslinien.*)

Lastzug I: Lokomotive—Tender—Lokomotive—Tender—Güterwagen,

Lastzug II: Tender—Lokomotive—Lokomotive—Tender—Güterwagen,

Lastzug III: Tender—Lokomotive—Tender—Lokomotive—Güterwagen,

Lastzug IV: Lokomotive—Lokomotive—Tender—Güterwagen.

u m	P_i t	$\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$	Last- zug	Zahl n der Lasten	u m	P_i t	$\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$	Last- zug	Zahl n der Lasten
5	43,3 (38,7)	6,2 (8,1)	I	3	30	146	4	IV	13
					32	154	4,5	II	14
6	49,5 (46,8)	6,0 (5,6)	I	4	34	163	4,5	II	15
					36	172	4	II	16
					38	180	4	II	16
7	55,5 (52,4)	5,6 (8,7)	I	4	40	188	3,5	II	17
					42	195	3,5	II	17
8	61,1	5,0	I	5	44	202	3	II	18
9	66,1	3,6	I	5	46	208	3	II	19
					48	214	3	II	19
10	69,7	2,7	I	5	50	220	3	II	20
11	72,4	2,0	I	5	52	226	3	II	20
12	74,4	1,5	I	5	54	232	3	II	21
13	75,9	1,3	I	5	56	238	2,5	II	21
14	77,2	2,7	I	6	58	243	2,5	II	22
15	79,9	3,7	I	6	60	248	3	II	22
16	83,6	4,3	I	7	62	254	2,5	II	23
17	87,9	3,9	I	8	64	259	3	II	23
18	91,8	3,3	I	8	66	265	3	II	24
19	95,1	6	I	8	68	270	2,5	III	25
20	101	7	IV	10	70	275	2,5	III	26
21	108	5	IV	10	72	280	2,5	III	26
22	113	5	IV	10	74	285	3	III	26
23	118	4	IV	10	76	291	2,5	III	27
24	122	4	IV	10	78	296	2,5	III	27
25	126	3	IV	10	80	301	2,5	III	28
26	129	4	IV	11	82	306	2,5	III	29
27	133	4	IV	11	84	311	2,5	III	29
28	137	6	IV	12	86	316	3	III	30
29	143	3	IV	13	88	322	2,5	III	30

*) Mit Erlaubnis des Herrn Verfassers entnommen aus: Müller-Breslau, Graphische Statik, II. Bd., 2. Abteilung.

u m	P_i t	$\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$	Last- zug	Zahl n der Lasten	u m	P_i t	$\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$	Last- zug	Zahl n der Lasten
90	327	2,5	III	31	160	510	3	III	53
92	332	2,5	III	32	162	516	2,5	III	54
94	337	2,5	III	32	164	521	3	III	54
96	342	2,5	III	33	166	527	2,5	III	55
98	347	2,5	III	33	168	532	2,5	III	56
		2,5					2,5		
100	352	3	III	34	170	537	3	III	56
102	358	2,5	III	35	172	543	2,5	III	57
104	363	2,5	III	36	174	548	3	III	58
106	368	2,5	III	36	176	554	2,5	III	58
108	373	2,5	III	37	178	559	2,5	III	59
		2,5					2,5		
110	378	3	III	37	180	564	3	III	60
112	384	2,5	III	38	182	570	2,5	III	60
114	389	2,5	III	39	184	575	3	III	61
116	394	2,5	III	39	186	581	2,5	III	62
118	399	2,5	III	40	188	586	3	III	62
		2,5					3		
120	404	3	III	41	190	592	2,5	III	63
122	410	2,5	III	41	192	597	3	III	63
124	415	2,5	III	42	194	603	2,5	III	64
126	420	2,5	III	42	196	608	3	III	65
128	425	2,5	III	43	198	614	2,5	III	65
		2,5					2,5		
130	430	3	III	44	200	619	2,5	III	66
132	436	2,5	III	44	202	624	3	III	67
134	441	2,5	III	45	204	630	2,5	III	67
136	446	3	III	46	206	635	3	III	68
138	452	2,5	III	46	208	641	2,5	III	69
		2,5					2,5		
140	457	2,5	III	47	210	646	3	III	69
142	462	3	III	47	212	652	2,5	III	70
144	468	2,5	III	48	214	657	3	III	71
146	473	2,5	III	49	216	663	2,5	III	71
148	478	3	III	49	218	668	3	III	72
		3					3		
150	484	2,5	III	50	220	674	2,5	III	73
152	489	2,5	III	51	222	679	3	III	73
154	494	3	III	51	224	685	2,5	III	74
156	500	2,5	III	52	226	690	3	III	75
158	505	2,5	III	53	228	696	2,5	III	75
		2,5					2,5		

u	P_i	$\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$	Last- zug	Zahl n der Lasten	u	P_i	$\frac{\Delta P_i}{\Delta u}$	Last- zug	Zahl n der Lasten
m	t				m	t			
230	701		III	76	270	813		III	89
232	707	3	III	76	272	818	2,5	III	90
234	713	3	III	77	274	824	3	III	90
236	718	2,5	III	78	276	829	2,5	III	91
238	724	3	III	78	278	835	3	III	92
		2,5					3		
240	729		III	79	280	841		III	92
242	735	3	III	80	282	846	2,5	III	93
244	740	2,5	III	80	284	852	3	III	94
246	746	3	III	81	286	857	2,5	III	94
248	751	2,5	III	82	288	863	3	III	95
		3					3		
250	757		III	82	290	869		III	95
252	762	2,5	III	83	292	874	2,5	III	96
254	768	3	III	84	294	880	3	III	97
256	774	3	III	84	296	885	2,5	III	97
258	779	2,5	III	85	298	891	3	III	98
		3			300	897	3	III	99
260	785		III	86					
262	790	2,5	III	86					
264	796	3	III	87					
266	801	2,5	III	88					
268	807	3	III	88					
		3							

$P_i^{u'}$ und $P_i^{u''}$ entsprechen den Strecken u' und u'' , und zwar für die 17 t-Lasten des preussischen Lastenzuges.

Die konzentrierten Lasten P_i sind für den preussischen Lastenzug (S. 71) und für Spannweiten $u = 5$ m bis 300 m in der vorangehenden Tabelle zusammengestellt. Zwischen $u = 40$ m und $u = 300$ m kann annähernd

$$P_i = 2,7 u + 85 \quad (102)$$

gesetzt werden.

Der zu $u = 5$ m gehörige Wert P_i gilt den preussischen Vorschriften gemäß für 19 t-Lasten, die zu $u = 6$ und $= 7$ m gehören für 18 t-Lasten. Die beigesetzten Klammerwerte entsprechen den 17 t-Lasten. Die Spalte 3 dient zur geradlinigen Einschaltung; Spalte 4 gibt die gegenseitige Stellung der Lokomotiven an, Spalte 5 die Zahl der aufgebrachten Achsen.

Wird eine anders geformte Einflußlinie durch eine inhaltsgleiche parabelförmige ersetzt, so sind die Ergebnisse um so genauer, je mehr sich die Belastungsfläche der als Momentenlinie eines einfachen Balkens anzusehenden Einflußlinie einem Rechtecke nähert. Rechteck-

belastung liefert die Parabel selbst. Die Resultate sind aber noch bei Belastungsflächen brauchbar, die Dreiecksgestalt nach Abb. II auf S. 153, ja sogar nach Abb. 113 haben. Die sehr wertvolle Anwendung der parabelförmigen Einflußlinien empfiehlt sich besonders dann, wenn bei segmentförmigen Einflußflächen das Aufsuchen der ungünstigsten Laststellung zur Berechnung der Größtwerte zeitraubend ist. Wie rasch man bei befriedigender Genauigkeit z. B. die Untersuchung des durchgehenden Balkens und des Zweigelenkbogens durchführen kann, ist auf S. 157, 163 u. 177 gezeigt.

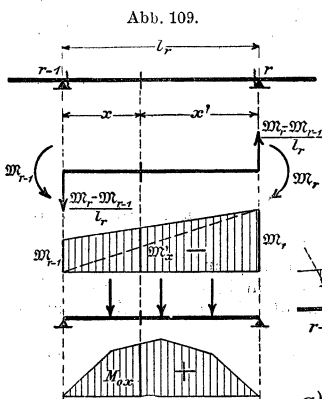
V. STATISCH UNBESTIMMTE KONSTRUKTIONEN.

A. Der Balken auf mehreren Stützen.

An der aus einem kontinuierlichen Träger herausgeschnittenen Öffnung von der Weite l_r (Abb. 109) greifen die zunächst unbekannten Stützenmomente M_{r-1} , M_r und die

Querkräfte $\frac{M_r - M_{r-1}}{l_r}$ an. Dadurch entsteht an der Stelle x das Biegemoment

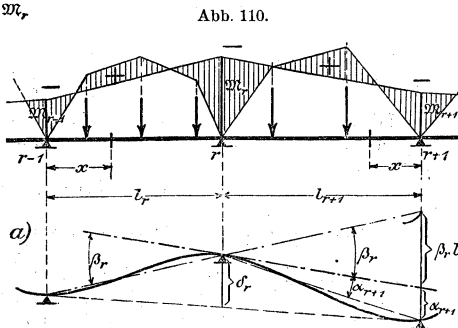
$$M'_x = -M_{r-1} \frac{x'}{l_r} - M_r \frac{x}{l_r} \quad (103)$$



Eine Belastung innerhalb l_r erzeugt noch das einfache Balkenmoment $M_{0,x}$. Das Bild der Gesamtmomente gibt Abb. 110.

Aus der Verbiegung des Balkens, Abb. 110 a, folgt

$$\beta_r + \alpha_{r+1} = \delta_r \frac{l_r + l_{r+1}}{l_r l_{r+1}}, \quad \dots \quad (104)$$



worin δ_r die beobachtete lotrechte Verschiebung des Stützpunktes r gegen die beiden Nachbarstützen bedeutet. Gleichung (83) und (83a) geben bei konstantem E , J , $t_u - t_0$ und h

$$-\beta_r l_r = \frac{1}{EJ} \int_0^{l_r} Mx \, dx = \int_0^{l_r} \frac{\varepsilon (t_u - t_0) x \, dx}{h},$$

$$-\alpha_{r+1} l_{r+1} = \frac{1}{EJ} \int_0^{l_{r+1}} Mx \, dx = \int_0^{l_{r+1}} \frac{\varepsilon (t_u - t_0) x \, dx}{h}.$$

Mit diesen beiden Beziehungen geht Gleichung 104 über in die sogen. verallgemeinerte **Clapeyronsche Gleichung**

$$\left. \begin{aligned} & \mathfrak{M}_{r-1} l_r + 2 \mathfrak{M}_r (l_r + l_{r+1}) + \mathfrak{M}_r l_{r+1} \\ &= -6 \left(\frac{L_r}{l_r} + \frac{R_{r+1}}{l_{r+1}} \right) - 6 EJ \delta_r \frac{l_r + l_{r+1}}{l_r l_{r+1}} \\ & \quad - 3 \varepsilon EJ (t_u - t_0) \frac{l_r + l_{r+1}}{h} \\ &= N_r, \end{aligned} \right\} \quad (105)$$

worin

$$L_r = \int_0^{l_r} M_0 x \cdot x \, dx$$

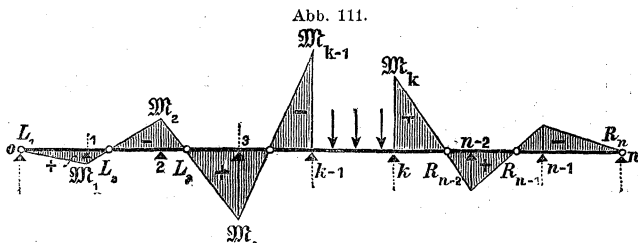
gleich dem statischen Moment der einfachen Momentenfläche der r ten Öffnung für ihre linke Auflagerlotrechte;

$$R_{r+1} = \int_0^{l_{r+1}} M_0 x \, dx$$

gleich dem statischen Moment der einfachen Momentenfläche der $(r+1)$ ten Öffnung für ihre rechte Auflagerlotrechte.

So viel statisch unbestimmte Stützenmomente auftreten, so viel Clapeyronsche Gleichungen lassen sich zu ihrer Berechnung aufstellen.

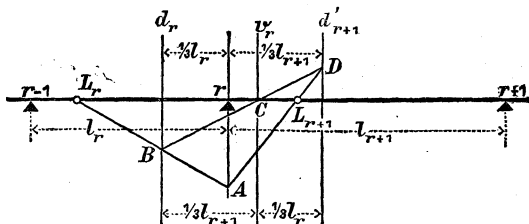
Ist $\delta_r = 0$, $t_u - t_0 = 0$ und wird nur die Öffnung l_k belastet, so besteht die Momentenlinie des Trägers 0, 1, 2, $(k-1)$



aus Geraden, die durch feste Punkte $L_1, L_2, L_3, \dots, L_{k-1}$ gehen (s. Abb. 111). Der erste Festpunkt L_1 fällt mit dem Stützpunkte 0 zusammen.

Aus der Lage des Festpunktes L_r (Abb. 112) ermittelt man die Lage des nächsten Festpunktes L_{r+1} wie folgt: Man trägt die Drittelsenkrechten d_r und d'_{r+1} ein, sodann die verschränkte Stützensenkrechte v_r , welche die Balkenachse in C schneidet. Nun zieht man von L_r aus in beliebiger Richtung eine Gerade, welche die Drittelsenkrechte d_r in B und die Stützensenkrechte durch r in A schneidet, legt durch B und C eine Gerade, die d'_{r+1} in D trifft, und verbindet D mit A . Die Gerade DA bestimmt

Abb. 112.



den Festpunkt L_{r+1} . So kann man, von L_1 ausgehend, L_2, L_3, \dots ermitteln; ebenso werden von der rechten Endstütze n aus (Abb. 111) die Festpunkte $R_n, R_{n-1}, R_{n-2}, \dots$ bestimmt.

Die analytische Ermittlung der Festpunkte folgt aus der Clapeyronschen Gleichung für den Belastungsfall in Abb. 111. Z. B. ist links von der belasteten Oeffnung

$$\mathfrak{M}_{r-1} \cdot l_r + 2 \mathfrak{M}_r (l_r + l_{r+1}) + \mathfrak{M}_{r+1} l_{r+1} = N_r = 0,$$

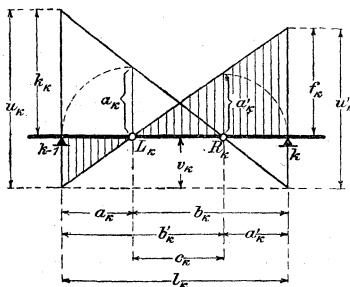
worin mit Bezug auf die Bezeichnungen der Abb. 113

$$\mathfrak{M}_{r-1} = -\mathfrak{M}_r \frac{a_r}{b_r} = -\frac{\mathfrak{M}_r}{x_r}$$

und

$$\mathfrak{M}_{r+1} = -\mathfrak{M}_r \frac{b_{r+1}}{a_{r+1}} = -\mathfrak{M}_r x_{r+1}.$$

Abb. 113.



Die Clapeyronsche Gleichung nimmt die allgemeine Form an:

$$\begin{aligned} & -\frac{l_r}{x_r} + 2(l_r + l_{r+1}) \\ & -l_{r+1} \cdot x_{r+1} = 0, \quad (106) \end{aligned}$$

die gestattet,

$$x_{r+1} = \frac{b_{r+1}}{a_{r+1}}$$

zu berechnen, wenn

$$x_r = \frac{b_r}{a_r}$$

bekannt ist.

Zur Ermittlung der linken Festpunkte L erhält man für die ersten beiden Felder

$$2(l_1 + l_2) - l_2 x_2 = 0 \quad \dots \quad (107)$$

woraus

$$x_2 = \frac{b_2}{a_2} = \frac{2(l_1 + l_2)}{l_2} \quad \dots \quad (107a)$$

berechnet wird; die Gleichung

$$a_2 + b_2 = l_2$$

vermittelt die Bestimmung von

$$a_2 = \frac{l_2}{1 + x_2} \quad \text{und} \quad b_2 = \frac{l_2}{1 + x_2} x_2 \quad \dots \quad (107b)$$

Für die nächsten Oeffnungen gilt allgemein

$$\left. \begin{aligned} x_r &= -\frac{l_{r-1}}{l_r x_{r-1}} + \frac{2(l_{r-1} + l_r)}{l_r}, \\ a_r &= \frac{l_r}{1 + x_r} \quad \text{und} \quad b_r = \frac{l_r}{1 + x_r} x_r \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (108)$$

Die Lage der Festpunkte R ist analog gegeben durch die Formeln

$$-\frac{l_{r+1}}{x'_{r+1}} + 2(l_r + l_{r+1}) - l_r x'_r = 0, \quad \dots \quad (109)$$

woraus

$$x'_r = \frac{b'_r}{a'_r}$$

zu finden ist, wenn

$$x'_{r+1} = \frac{b'_{r+1}}{a'_{r+1}}$$

bekannt ist. Man beginnt bei n Oeffnungen mit

$$x'_{n-1} = \frac{b'_{n-1}}{a'_{n-1}} = \frac{2(l_{n-1} + l_n)}{l_{n-1}}, \quad \left. \dots \right\} \quad (110)$$

bildet

$$a'_{n-1} = \frac{l_{n-1}}{1 + x'_{n-1}} \quad \text{und} \quad b'_{n-1} = \frac{l_{n-1}}{1 + x'_{n-1}} x'_{n-1},$$

dann

$$\left. \begin{aligned} x'_r &= -\frac{l_{r+1}}{l_r x'_{r+1}} + \frac{2(l_r + l_{r+1})}{l_r}, \\ a'_r &= \frac{l_r}{1 + x'_r} \quad \text{und} \quad b'_r = \frac{l_r}{1 + x'_r} x'_r \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (111)$$

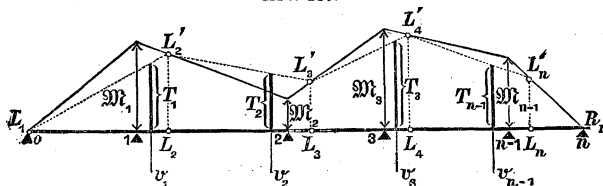
Für Träger mit gleich weiten Oeffnungen sind die Zahlen x unabhängig von den Stützweiten l ; a und b werden Funktionen von l .

Kennt man die Festpunkte L und R , so kann man die Momente $M_1, M_2, \dots, M_r, \dots$ für jeden Belastungszustand durch folgende Zeichnung finden (Abb. 114): Man trägt auf den verschränkten Stützensenkrechten $v_1, v_2, \dots, v_r, \dots$ die in der Regel negativen Momente

$$T_1 = \frac{N_1}{3(l_1 + l_2)}, \quad T_2 = \frac{N_2}{3(l_2 + l_3)}, \quad \dots \quad T_r = \frac{N_r}{3(l_r + l_{r+1})} \dots$$

auf und legt durch ihre Endpunkte den Linienzug $L_1 L'_2 L'_3 \dots L'_r, \dots L'_n$, dessen Eckpunkte senkrecht über den Festpunkten $L_2, L_3, \dots L_r, \dots L_n$ liegen. Sodann legt man, vom Stützpunkte n ausgehend, einen Linienzug durch die Punkte L' , dessen Eckpunkte

Abb. 114.



senkrecht über den Stützen liegen. Dieser zweite Linienzug schneidet auf den Stützensenkrechten die gesuchten Momente $M_1, M_2, \dots M_r, \dots M_n$ ab. In Abb. 114 sind sämtliche T negativ angenommen; für die Stützenmomente ergeben sich negative Werte. Zur Kontrolle kann man noch von rechts her mit Hilfe der Festpunkte R vorgehen.

Dieses **Verfahren der T -Momente** eignet sich besonders bei Balken mit vielen Stützpunkten zur Ermittlung der Stützenmomente infolge sogen. fester Zustände, nämlich

- 1) einer bleibenden gleichförmigen Belastung g (durch das Eigengewicht)
- 2) der beobachteten Stützensenkungen δ und
- 3) einer ungleichmäßigen Erwärmung.

Zu 1) hat man, wenn l_r mit g_r und l_{r+1} mit g_{r+1} gleichförmig belastet ist, zu setzen:

$$T_{rg} = \frac{-6 \left(\frac{L_r}{l_r} + \frac{R_{r+1}}{l_{r+1}} \right)}{3(l_r + l_{r+1})} = - \frac{g_r l_r^3 + g_{r+1} l_{r+1}^3}{12(l_r + l_{r+1})};$$

$$\text{zu 2)} \quad T_{r\delta} = - \frac{2 E J \delta_r}{l_r l_{r+1}};$$

$$\text{zu 3)} \quad T_t = - \frac{\epsilon E J (t_u - t_o)}{h},$$

welches T -Moment bei unveränderlichem h konstant ist. Man darf auch mit Rücksicht auf die Schätzung $t_u - t_o$ schreiben

$$\max M_t = - \frac{\epsilon E J (t_u - t_o)}{h} \dots \dots \dots (112)$$

woraus der Ueberschlagswert folgt:

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \epsilon E (t_u - t_o).$$

Die **Wirkung beweglicher Einzellasten** wird mit Hilfe von Einflußlinien untersucht.

Die Oeffnung l_k (Abb. 111) trage eine Einzellast P ; gesucht sind die Stützenmomente M_{k-1} und M_k . Aus den Clapeyronschen Gleichungen

für die Balkenstücke $(k-2)$ bis k und $(k-1)$ bis $(k+1)$ folgt (siehe auch Abb. 115a):

$$x_k \mathfrak{M}_{k-1} + \mathfrak{M}_k = \frac{N_{k-1}}{l_k} = -Pl_k \left(\frac{x'}{l_k} - \frac{x'^3}{l_k^3} \right) = -Pl_k \omega'_D$$

und

$$\mathfrak{M}_{k-1} + x'_k \mathfrak{M}_k = \frac{N_k}{l_k} = -Pl_k \left(\frac{x}{l_k} - \frac{x^3}{l_k^3} \right) = -Pl_k \omega_D,$$

worin die Werte

$$\omega_D = \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} \quad \dots \quad (113)$$

und

$$\omega'_D = \frac{x'}{l} - \frac{x'^3}{l^3} \quad \dots \quad (114)$$

nur von dem Verhältnis $\frac{x}{l}$ bzw. $\frac{x'}{l}$ abhängig sind. Sie sind in der Tabelle auf S. 152 zusammengestellt. Mit

$$\omega'_D = 3\omega_R - \omega_D,$$

wobei

$$\omega_R = \frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \quad \dots \quad (115)$$

ist, erhält man zur Berechnung der **Einflusslinien der beiden Stützenmomente** (Abb. 115) die Formeln

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M}_k &= -(u'_k \omega_D - 3v_k \omega_R) \\ \mathfrak{M}_{k-1} &= -(u_k \omega_D - 3v_k \omega_R) \end{aligned} \right\} \quad (116)$$

worin (s. Abb. 113):

$$\left. \begin{aligned} u'_k &= a'_k \frac{l_k}{c_k}, \\ u_k &= a_k \frac{l_k}{c_k}, \\ v_r &= a'_r \frac{a_r}{c_r} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (117)$$

und

ist.

Es genügt, 10 Ordinaten mit Hilfe der nachfolgenden ω -Tabelle zu berechnen (Abb. 115b). Bei der \mathfrak{M}_{k-1} -Linie ist x von rechts aus zu zählen! Man beachte, daß die Einflusslinie von Querträger zu Querträger gerade ist.

Hat man die Stützenmomente \mathfrak{M}_{k-1} und \mathfrak{M}_k für den vorgeschriebenen Lastzug ermittelt, so trägt man ihre Werte über den Stützen $k-1$

Abb. 115.

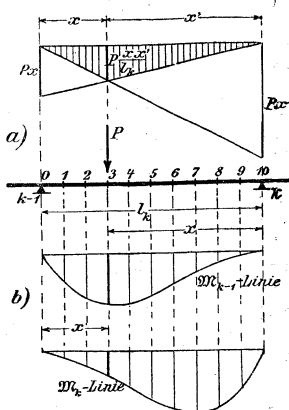


Tabelle der Werte ω_R , ω_D , ω_P , ω''_P .*)

Belastung nach Abb. I		II	III	IV
		$zx = z \frac{x}{l}$	$zx = z \frac{x^2}{l^2}$	$zx = \frac{4zx(l - x)}{l^2}$
	$A = B = \frac{zl}{2}$	$A = \frac{zl}{6}$ $B = \frac{zl}{3}$	$A = \frac{zl}{12}$ $B = \frac{zl}{4}$	$A = B = \frac{zl}{3}$
$M =$	$\omega_R \frac{z l^2}{2}$	$\omega_D \frac{z l^2}{6}$	$\omega_P \frac{z l^2}{12}$	$\omega''_P \frac{z l^2}{3}$
$\frac{x}{l}$	$\omega_R = \frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}$	$\omega_D = \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3}$	$\omega_P = \frac{x}{l} - \frac{x^4}{l^4}$	$\omega''_P = \frac{x^4}{l^4} - 2 \frac{x^3}{l^3}$ $= 2\omega_D - \omega_R$ $= \omega_R(1 + \frac{x}{l})$
0,05	0,0475	0,0499	0,0500	0,0498
0,10	0,0900	0,0990	0,0999	0,0981
0,15	0,1275	0,1466	0,1495	0,1438
0,20	0,1600	0,1920	0,1984	0,1856
0,25	0,1875	0,2344	0,2461	0,2227
0,30	0,2100	0,2730	0,2919	0,2541
0,35	0,2275	0,3071	0,3350	0,2793
0,40	0,2400	0,3360	0,3744	0,2976
0,45	0,2475	0,3589	0,4090	0,3088
0,50	0,2500	0,3750	0,4375	0,3125
0,55	0,2475	0,3836	0,4585	0,3088
0,60	0,2400	0,3840	0,4704	0,2976
0,65	0,2275	0,3754	0,4715	0,2793
0,70	0,2100	0,3570	0,4599	0,2541
0,75	0,1875	0,3281	0,4336	0,2227
0,80	0,1600	0,2880	0,3904	0,1856
0,85	0,1275	0,2359	0,3280	0,1438
0,90	0,0900	0,1710	0,2439	0,0981
0,95	0,0475	0,0926	0,1355	0,0498
$\int_0^l M dx =$	$\frac{z l^3}{12}$	$\frac{z l^3}{24}$	$\frac{z l^3}{40}$	$\frac{z l^3}{15}$
$\int_0^l \omega dx =$	$\frac{l}{6}$	$\frac{l}{4}$	$\frac{3}{10} l$	$\frac{l}{5}$

*) Mit Erlaubnis des Herrn Verfassers entnommen aus: Müller-Breslau, Graphische Statik, Band II.

und k auf und findet die übrigen Stützenmomente infolge Belastung der Oeffnung l_k auf der linken bzw. rechten Seite mit Hilfe des Linienzuges durch die linken Festpunkte L bzw. die rechten R (Abb. 111). Dieses Verfahren ist das einfachste.

(Zu Tabelle S. 1b2.)

Werden alle Oeffnungen belastet, so genügt es zur Ermittlung eines Stützenmomentes \mathfrak{M}_k , nur die Einflusslinien für die der Stütze k benachbarten Oeffnungen l_k und l_{k+1} zu berücksichtigen. Abb. 116 zeigt einen solchen Fall. Die Reihenfolge der einzelnen Arbeiten ist:

1. Berechnung von x, x', a, b, a', b' nach den Gleichungen (106) bis (110);

2. Ermittlung der Werte u, u' und v nach Gleichung (117);

3. Bestimmung der Ordinaten von \mathfrak{M}_k und \mathfrak{M}_{k-1} nach Formel 116 und Auftragen der \mathfrak{M} -Linien;

4. Ungünstigste Aufstellung des Lastenzuges.

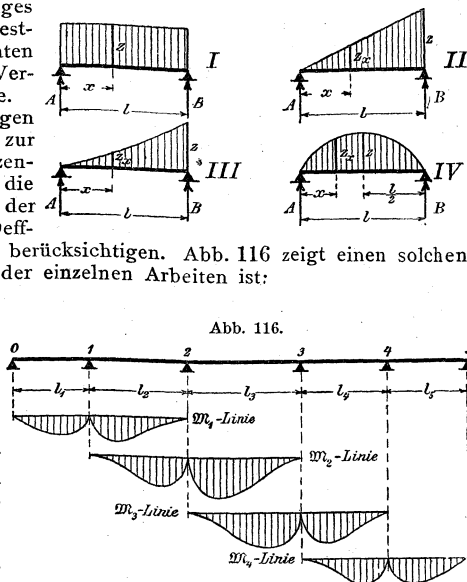


Abb. 116.

Die Einflusslinie für das Biegemoment an der Stelle s der belasteten Oeffnung l_k .

Die Momentenfläche (Abb. 117) bei Belastung der Oeffnung l_k durch $P=1$ besteht aus der Differenz der M_0 -Fläche und des Trapezes der Stützenmomente \mathfrak{M}_{k-1}^s und \mathfrak{M}_k^s , die am kürzesten nach Gleichung (116) gerechnet werden. Der Punkt S' der M_0 -Fläche bewegt sich auf einer Parabel von der Höhe $1 \frac{l_k}{4}$. Den Momentenflächen entnimmt man die Werte M_S , die sich aber auch bequem rechnen lassen. Es ist

$$SS' = 1 \frac{xx'}{l_k} = l_k \left(\frac{x}{l_k} - \frac{x^2}{l_k^2} \right) = l_k \omega_R,$$

worin ω_R der ω -Tabelle zu entnehmen ist; mit der Bezeichnung

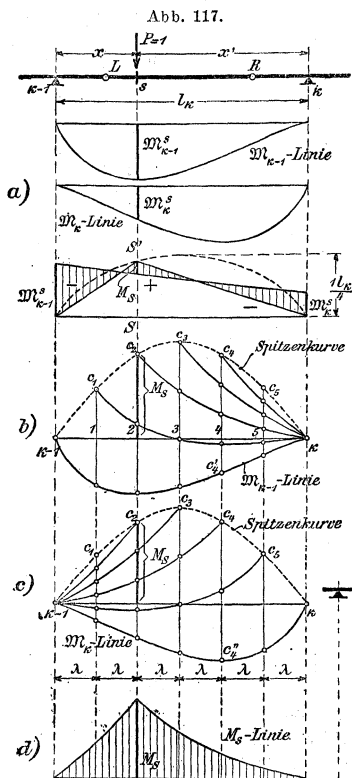
$$\begin{aligned} l_k &= n\lambda, & n &= s + s' \\ x &= s\lambda, & x' &= s'\lambda \end{aligned}$$

ergibt sich

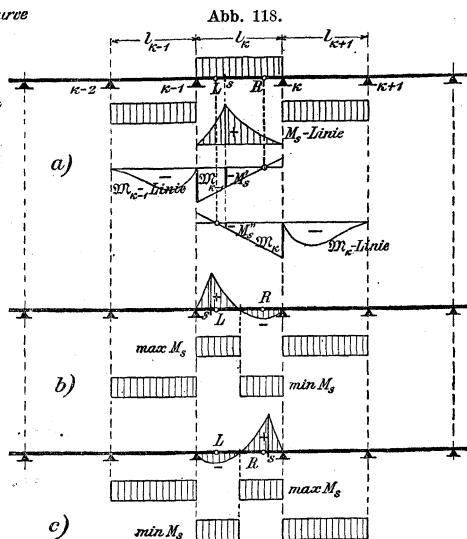
$$M_S = l_k \omega_R + \mathfrak{M}_{k-1}^s \frac{s'}{n} + \mathfrak{M}_k^s \frac{s}{n} \dots \quad (118)$$

Durch Auftragen der in gleichen Abständen λ stehenden Ordinaten M_s erhält man den Ort der Spitzen C (Abb. 117b und c). Den Abstand der Spitzenkurve von der darunter gezeichneten M_{k-1} - bzw. M_k -Linie teilt man in so viel gleiche Teile, als der Index des Feldpunktes von $k-1$ bzw. k aus gezählt angibt (z. B. in Abb. 117b den Abstand $C_4 C'_4$ in 4 gleiche Teile, in Abb. 117c die Strecke $C_4 C''_4$ in 2 Teile). Je zwei zusammengehörige Kurven $C-k$ und $C-(k-1)$ sind die zur Konstruktion der Einflusslinien für M_s erforderlichen Zweige; z. B. in Abb. 117d die Kurven $C_2-(k-1)$ und C_2-k für das Moment M_s an der Stelle 2.

Liegt der Feldpunkt s zwischen den Festpunkten L und R , so ist die M_s -Linie nur positiv (Abb. 117d); wenn s außerhalb der Festpunkte L bzw. R liegt, so enthält der rechte bzw. linke Zweig der Einflusslinie ein negatives Gebiet, wie die Kurven C_1-k und $C_5-(k-1)$ in Abb. 117b und c lehren. Daraus ergeben sich die



in Abb. 118a bis c eingetragenen ungünstigsten Laststellungen, wobei zu beachten ist, dass man in der Regel mit einer Trennung des Zuges in nur 2 Teile rechnet. Die positiven und negativen Beitragsstrecken folgen abwechselnd aufeinander. Meistens genügt es, außer der fraglichen



Oeffnung l_k nur noch den Einfluss der beiden angrenzenden l_{k-1} und l_{k+1} mit Hülfe der ihnen entsprechenden M_{k-1} - und M_k -Linien und der zu l_k gehörigen Festlinien zu untersuchen. So liefert in Abb. 118a die Belastung von l_k den Wert $\max M_s$; die Belastung von l_{k-1} und l_{k+1} den Wert $\min M_s = M'_s + M''_s$. Die beiden Untersuchungen nach Abb. 118b und c können unterbleiben, wenn die Linie der größten Momente zwischen dem Festpunkt R und der rechts von ihm liegenden Stütze, ebenso zwischen L und der links von ihm liegenden Stütze geradlinig verlaufend angenommen wird.

Die **Querkräfte** ergeben sich nach Berechnung der Stützenmomente und einfachen Balkenmomente wie folgt: Das Moment an der Stelle x der Oeffnung l_k ist (vgl. Gleichung 103)

$$M_x = M_0 + M_{k-1} + (M_k - M_{k-1}) \frac{x}{l_k}.$$

Daraus folgt die Querkraft

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx} = Q_0 + Q' \quad \dots \quad (119)$$

worin Q_0 für den einfachen Balken von der Weite l_k gilt und

$$Q' = \frac{M_k}{l_k} - \frac{M_{k-1}}{l_k} \quad \dots \quad (120)$$

ist.

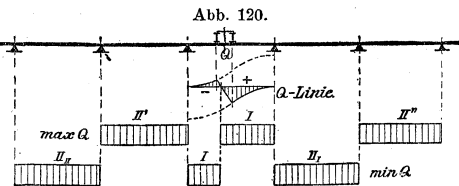
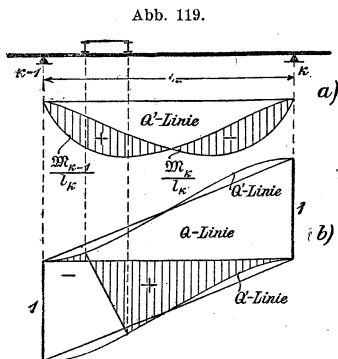
Die **Einflusslinie für Q** (Abb. 119b) setzt sich daher zusammen aus der Q_0 -Linie und der Q' -Linie (Abb. 119a), d. i. der Differenz der $\frac{M_k}{l_k}$ - und $\frac{M_{k-1}}{l_k}$ -

Linie. Man begeht im allgemeinen keinen nennenswerten Fehler, wenn man Q' vernachlässigt und die Querkräfte wie bei dem einfachen Balken rechnet.

Die Querkräfte einer unbelasteten Strecke l_r sind für alle Felder gleich groß, nämlich

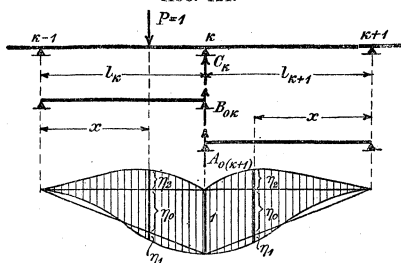
$$Q = \frac{M_r - M_{r-1}}{l_r}.$$

Die Ermittlung des Einflusses der Belastung irgend einer Oeffnung auf die Querkräfte der anderen Oeffnungen erfordert nur die Darstellung der Stützenmomente nach Abb. 111.



Das Belastungsschema für Q ist in Abb. 120 angegeben. Zur Bestimmung von $\max Q$ ist zunächst Last I aufzubringen und dazu noch der ungünstigere der beiden Lastfälle II' und II'' zu addieren. Ähnliches gilt für $\min Q$.

Abb. 121.

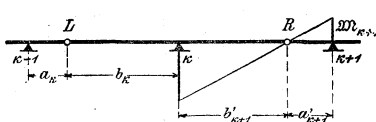


Die **Reaktion C_k einer Mittelstütze** ist (Abb. 121)

$$C_k = B_{0k} + A_{0(k+1)} \left\{ \begin{aligned} &+ \frac{\mathfrak{M}_{k-1} - \mathfrak{M}_k}{l_k} \\ &+ \frac{\mathfrak{M}_k + 1 - \mathfrak{M}_{k+1}}{l_{k+1}} \end{aligned} \right\} \quad (121)$$

B_{0k} und $A_{0(k+1)}$ sind Stützendrucke der einfachen Balken l_k und l_{k+1} .

Liegt eine Last $P=1$ über der Oeffnung l_k , so ist (vgl. Abb. 122)



$$\mathfrak{M}_{k+1} = -\mathfrak{M}_k \frac{a'_{k+1}}{b'_{k+1}}.$$

Die **Einflusslinie für C_k** hat an der Stelle x der linken Oeffnung die Ordinaten

$$\left. \begin{aligned} \eta_0 &= 1 \frac{x}{l_k}, \\ \eta_1 &= \frac{\mathfrak{M}_{k-1} - \mathfrak{M}_k}{l_k}, \quad \eta_2 = \frac{\mathfrak{M}_k + 1 - \mathfrak{M}_{k+1}}{l_{k+1}} = -\frac{\mathfrak{M}_k}{b'_{k+1}} \end{aligned} \right\} \quad (122)$$

Für eine an der Stelle x der rechten Oeffnung liegende Last wird

$$\left. \begin{aligned} \eta^0 &= \frac{1 \cdot x}{l_{k+1}}, \\ \eta^1 &= \frac{\mathfrak{M}_k + 1 - \mathfrak{M}_{k+1}}{l_{k+1}} \quad \text{und} \quad \eta^2 = -\frac{\mathfrak{M}_k}{b_k} \end{aligned} \right\} \quad (123)$$

Mit Hilfe der Gleichungen (116), (121), (122) und (123) ergeben sich die Formeln zur Berechnung der Einflusslinien für C_k ; für die Oeffnung l_k (x von links her gezählt)

$$C_k = \frac{x}{l_k} + \left(\frac{a_k + a'_k}{c_k} + \frac{u'_k}{b'_{k+1}} \right) \omega_D - 3 \left(\frac{a_k}{c_k} + \frac{v_k}{b'_{k+1}} \right) \omega_R \quad (122a)$$

für die Oeffnung l_{k+1} (x von rechts aus gezählt)

$$C_k = \frac{x}{l_{k+1}} + \left(\frac{a'_{k+1} + a'_{k+1}}{c_{k+1}} + \frac{u_{k+1}}{b_k} \right) \omega_D - 3 \left(\frac{a'_{k+1}}{c_{k+1}} + \frac{v_{k+1}}{b_k} \right) \omega_R \quad (123a)$$

Die Bezeichnungen sind aus Abb. 113 ersichtlich.

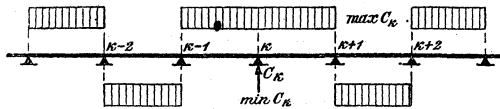
Den Einfluß von Lasten, die außerhalb l_k und l_{k+1} stehen, beurteilt man mit Hülfe der Gleichung

$$C_k = \frac{M_{k-1} - M_k}{l_k} + \frac{M_{k+1} - M_k}{l_{k+1}}, \quad \dots \quad (124)$$

nachdem man M_{k-1} , M_k und M_{k+1} (nach Abb. 111) mit Hülfe der Festpunkte bestimmt hat.

Das Belastungsschema für den Stützendruck C_k ist in Abb. 123 eingetragen.

Abb. 123.

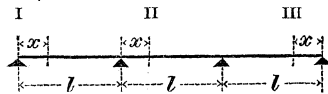


Die Tafel auf S. 158 dient zur Berechnung der Biegemomente und Querkräfte von **gleichförmig belasteten**, frei aufliegenden Balken auf drei (Abb. 124) und auf vier Stützen (Abb. 125)

Abb. 124.



Abb. 125.



bei gleichen Stützweiten. Bedeutung von g und p s. S. 83. Für ein bestimmtes Verhältnis $x:l$ ist

$$\begin{aligned} M_{\max} &= (Ag + Bp) l^2, & M_{\min} &= (Ag + Cp) l^2. \\ Q_{\max} &= (Dg + Ep) l, & Q_{\min} &= (Dg + Fp) l. \end{aligned}$$

Siehe auch I. Bd., Biegezugfestigkeit; Träger auf mehreren Stützen.

Anwendung der parabelförmigen Einflußlinien auf die Untersuchung der kontinuierlichen Balken unveränderlichen Querschnitts.

Zur Auswertung der Einflußlinien für die **Stützenmomente** wähle man stellvertretende parabolische Einflußlinien, deren Pfeile z' entweder gleich den größten Ordinaten der fraglichen M -Linien, oder gleich den Pfeilen z der inhaltsgleichen Parabeln angenommen werden. Jene geben die größeren Werte und empfehlen sich, wenn die Spannweiten etwa unter 20 m liegen oder wenn nur eine einzelne Öffnung belastet wird; diese sind bei Belastung zweier Öffnungen größerer Stützweiten anzuwenden. Ist die Entscheidung zweifelhaft, rechne man mit den größeren z' . Wenn die größere von zwei ungleichen Nachbaröffnungen weiter als etwa 30 bis 33 m ist, benutzt man für sie die Werte $P_i z'$ (über ungefähr 45 m genügt $P_i z$), für die kleinere Öffnung aber eine gleichförmige Belastung durch Güterwagen $p = \frac{13}{3}$ t/m, multipliziert mit dem Inhalt der zugehörigen M -Fläche.

Gleichförmig belastete Balken auf drei und vier Stützen.

(Näheres s. S. 157.)

Abb. 124 und 125		Ver- hältnis $\frac{x}{l}$	Biegemomente			Querkräfte		
			Einfluss von g	Einfluss von p		Einfluss von g	Einfluss von p	
				A	B		C	D	$E$	$F$
Frei aufliegender Balken mit drei Stützen	Öffnung I und II (Abb. 124).	0,0	0,0000	0,00000	0,00000	+ 0,375	+ 0,4375	- 0,0625
		0,1	+ 0,0325	+ 0,03875	- 0,00625	+ 0,275	+ 0,3437	- 0,0687
		0,2	+ 0,0550	+ 0,06750	- 0,01250	+ 0,175	+ 0,2624	- 0,0874
		0,3	+ 0,0675	+ 0,08625	- 0,01875	+ 0,075	+ 0,1932	- 0,1182
		0,375	+ 0,0703	+ 0,09375	- 0,02344	0,000	+ 0,1491	- 0,1491
		0,4	+ 0,0700	+ 0,09500	- 0,02500	- 0,025	+ 0,1359	- 0,1609
		0,5	+ 0,0625	+ 0,09375	- 0,03125	- 0,125	+ 0,0898	- 0,2148
		0,6	+ 0,0450	+ 0,08250	- 0,03750	- 0,225	+ 0,0544	- 0,2794
		0,7	+ 0,0175	+ 0,06125	- 0,04375	- 0,325	+ 0,0287	- 0,3537
		0,75	0,0000	+ 0,04683	- 0,04688	- 0,375	+ 0,0193	- 0,3943
		0,8	- 0,0200	+ 0,03000	- 0,05000	- 0,425	+ 0,0110	- 0,4369
		0,85	- 0,0425	+ 0,01523	- 0,05773	- 0,475	+ 0,0064	- 0,4814
		0,9	- 0,0675	+ 0,00611	- 0,07361	- 0,525	+ 0,0027	- 0,5277
		0,95	- 0,0950	+ 0,00138	- 0,09638	- 0,575	+ 0,0007	- 0,5757
		1,0	- 0,1250	0,00000	- 0,12500	- 0,625	0,0000	- 0,6250
Frei aufliegender Balken mit vier Stützen	Öffnung I und III (Abb. 125)	0,0	0,000	0,000	0,000	+ 0,4	+ 0,4500	- 0,0500
		0,1	+ 0,035	+ 0,040	- 0,005	+ 0,3	+ 0,3560	- 0,0563
		0,2	+ 0,060	+ 0,070	- 0,010	+ 0,2	+ 0,2752	- 0,0752
		0,3	+ 0,075	+ 0,090	- 0,015	+ 0,1	+ 0,2065	- 0,1065
		0,4	+ 0,080	+ 0,100	- 0,020	0,0	+ 0,1496	- 0,1496
		0,5	+ 0,075	+ 0,100	- 0,025	- 0,1	+ 0,1042	- 0,2042
		0,6	+ 0,060	+ 0,090	- 0,030	- 0,2	+ 0,0694	- 0,2694
		0,7	+ 0,035	+ 0,070	- 0,035	- 0,3	+ 0,0443	- 0,3443
		0,7895	+ 0,00414	+ 0,04362	- 0,03948	.	.	.
		0,8	0,000	+ 0,04022	- 0,04022	- 0,4	+ 0,0280	- 0,4280
		0,85	- 0,02125	+ 0,02773	- 0,04898	.	.	.
		0,9	- 0,04500	+ 0,02042	- 0,06542	- 0,5	+ 0,0193	- 0,5193
		0,95	- 0,07125	+ 0,01706	- 0,08831	.	.	.
		1,0	- 0,10000	+ 0,01667	- 0,11667	- 0,6	+ 0,0167	- 0,6167
		Frei aufliegender Balken mit vier Stützen	Öffnung II (Abb. 126)	0,0	- 0,10000	+ 0,01667	- 0,11667	+ 0,5
0,05	- 0,07625			+ 0,01408	- 0,09033	.	.	.
0,10	- 0,05500			+ 0,01514	- 0,07014	+ 0,4	+ 0,4870	- 0,0870
0,15	- 0,03625			+ 0,02053	- 0,05678	.	.	.
0,20	- 0,020			+ 0,030	- 0,050	+ 0,3	+ 0,3991	- 0,0991
0,2764	0,000			+ 0,050	- 0,050	.	.	.
0,3	+ 0,005			+ 0,055	- 0,050	+ 0,2	+ 0,3210	- 0,1210
0,4	+ 0,020			+ 0,070	- 0,050	+ 0,1	+ 0,2537	- 0,1537
0,5	+ 0,025			+ 0,075	- 0,050	0,0	+ 0,1979	- 0,1979

Aus Gleichung (116) folgt, daß die größten Ordinaten der \mathfrak{M}_k - und \mathfrak{M}_{k-1} -Linie der Oeffnung l_k liegen bei

$$x = a_k + \sqrt{\frac{l_k^2}{3} - a_k b_k}$$

(x von $k-1$ aus gezählt), bzw.

$$x = a'_k + \sqrt{\frac{l_k^2}{3} - a'_k b'_k}$$

(x von k aus gezählt), worin es genügt

$$a_k = a'_k = 0,2 l_k \quad \text{und} \quad b_k = b'_k = 0,8 l_k$$

einzusetzen.

$$\text{Das gibt} \quad x = 0,62 l_k$$

und die größeren Werte

$$\left. \begin{aligned} z'_k &= 0,38 u'_k - 0,72 v_k, & z'_{k-1} &= 0,38 u_k - 0,72 v_k \\ \mathfrak{M}_k &= -P_i z'_k, & \mathfrak{M}_{k-1} &= -P_i z'_{k-1} \end{aligned} \right\} \quad (125)$$

Aus dem Inhalt der \mathfrak{M}_k - und \mathfrak{M}_{k-1} -Fläche

$$\mathfrak{F}_k = \frac{1}{4} (u'_k - 2 v_k) l_k \quad \text{und} \quad \mathfrak{F}_{k-1} = \frac{1}{4} (u_k - 2 v_k) l_k \quad (126)$$

findet man für den Pfeil der inhaltsgleichen Parabel die kleineren Werte

$$\left. \begin{aligned} z_k &= 0,375 u'_k - 0,750 v_k, & z_{k-1} &= 0,375 u_k - 0,750 v_k \\ \mathfrak{M}_k &= -P_i z_k, & \mathfrak{M}_{k-1} &= -P_i z_{k-1} \end{aligned} \right\} \quad (127)$$

Für die Endöffnung zwischen Stütze 0 und 1 ist

$$\left. \begin{aligned} z'_1 &= 0,385 u'_1, & \mathfrak{M}_1 &= -P_i z'_1 \\ \mathfrak{F}_1 &= \frac{1}{4} a'_1 l_1 \\ z_1 &= 0,375 u'_1, & \mathfrak{M}_1 &= -P_i z_1 \end{aligned} \right\} \quad (128)$$

bzw.

Sind alle Oeffnungen gleich groß, läßt sich z als Funktion der Stützensahl und -weite darstellen.

Die Momente der zwischen den Fixpunkten L_k und R_k liegenden Querschnitte werden nach folgenden Formeln gerechnet:

$$\max M_m = \max M_{0m} \gamma_m \gamma'_m \quad (129)$$

worin $\max M_0$ als das einfache Balkenmoment der Tabelle 2 auf S. 73, γ_m der Tabelle 1 auf S. 72 entnommen werden und

$$\gamma'_m = 1 - 0,475 \left(\frac{u_k}{x_m} + \frac{u'_k}{x'_m} \right) + \frac{0,95 v_k l_k}{x_m x'_m} \quad (130)$$

ist.

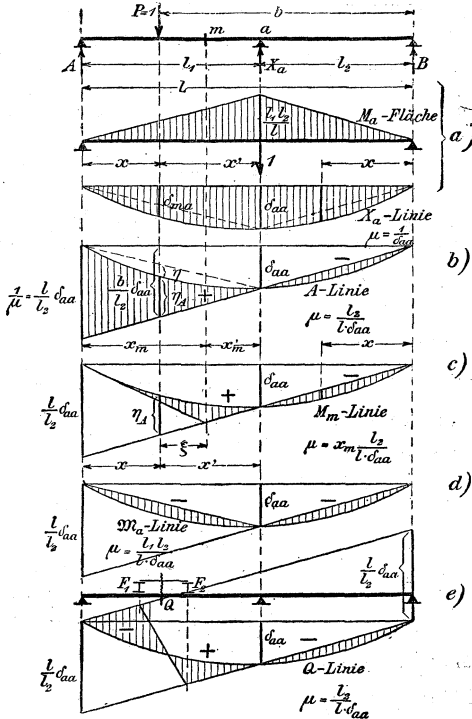
Für die erste Oeffnung gilt

$$\gamma'_m = 1 - 0,475 \frac{u'_k}{x'_m} \quad (131)$$

Der Einfluss einer ungleichmäßigen Erwärmung ist nach Gleichung (63a)

$$X_{at} = \frac{\delta_{at}}{\delta_{aa}}.$$

Abb. 126.



Aus Gleichung (94a) und (95a) folgt

$$\delta_{at} = \frac{\varepsilon (t_u - t_o)}{h} \int M_a dx = \varepsilon \frac{t_u - t_o}{h} \frac{l_1 l_2}{2}$$

und

$$E J \delta_{aa} = \int M_a^2 dx = \frac{l_1^2 l_2^2}{3 l},$$

woraus sich ergibt

$$X_{at} = \frac{3}{2} \varepsilon E J \frac{t_u - t_o}{h} \frac{l}{l_1 l_2} \quad (136)$$

Eine Zusammendrückung der Mittelstütze um δ_a beeinflusst X_a mit (s. Gleichung 63a)

$$\Delta X_a = -\frac{\delta_a}{\delta_{aa}} = 3 EJ \delta_a \frac{l}{l_1^2 l_2^2} \quad (137)$$

Alle übrigen Einflußlinien werden aus der X_a -Linie abgeleitet.

A-Linie. Es ist

$$A = 1 \frac{b}{l} - X_a \frac{l_2}{l} = \frac{l_2}{l \delta_{aa}} \left(\frac{b}{l_2} \delta_{aa} - \delta_{ma} \right).$$

Daraus folgt die in Abb. 126b gezeigte Ermittlung der A-Linie; ihr Multiplikator ist

$$\mu = \frac{l_2}{l \delta_{aa}}.$$

M_m -Linie. Steht die Last $P=1$ rechts von der Stelle m , entsteht $M_m = A \cdot x_m$; d. h. die M_m -Linie ist rechts von m gleich der A-Linie mit dem Multiplikator

$$\mu = \frac{x_m l_2}{l \delta_{aa}};$$

steht P links von m , so ist

$$M_m = A x_m - 1 \cdot \xi = \frac{x_m l_2}{l \delta_{aa}} \left(\eta_A - \xi \frac{l \delta_{aa}}{l_2 x_m} \right).$$

Daraus läßt sich die Konstruktion in Abb. 126c ableiten. η_A ist die unter $P=1$ gemessene Ordinate der A-Linie.

Ebenso findet man die Einflußlinie für das **Stützenmoment M_a** (Abb. 126d) mit

$$\mu = \frac{l_1 l_2}{l \delta_{aa}}.$$

Q-Linie. $Q = A$, wenn P rechts vom Schnitt liegt;

$$Q = A - 1 = \frac{l_2}{l \delta_{aa}} \left(\eta_A - \frac{l \delta_{aa}}{l_2} \right),$$

wenn die Last links davon liegt. Die Zeichnung der Q-Linie erfolgt nach Abb. 126e; $\mu = \frac{l_2}{l \delta_{aa}}.$

Bei konstantem Querschnitt kann man die **Ordinaten der Einflußlinien leicht rechnen**. Man findet für die X_a -Linie aus Gleichung (122a) und (123a)

für die linke Oeffnung l_1
(x von links her gerechnet)

$$X_a = \frac{x}{l_1} + \frac{l_1}{2 l_2} \omega_D$$

für die rechte Oeffnung l_2
(x von rechts her gezählt)

$$X_a = \frac{x}{l_2} + \frac{l_2}{2 l_1} \omega_D;$$

für die A-Linie ist

$$(122) \quad A = \frac{x'}{l_1} - \frac{l_1}{2 l} \omega_D$$

$$A = -\frac{l_2}{2 l l_1} \omega_D;$$

für die M_m -Linie links von m

$$M_m = \frac{x'_m x}{l_1} - \frac{x_m l_1}{2l} \omega_D$$

rechts von m

$$M_m = -\frac{x_m l_2^2}{2l l_1} \omega_D;$$

$$M_m = \frac{x_m x'}{l_1} - \frac{x_m l_1}{2l} \omega_D$$

für die M_a -Linie

$$M_a = -\frac{l_1^2}{2l} \omega_D$$

$$M_a = -\frac{l_2^2}{2l} \omega_D;$$

für die Q -Linie links vom Querträger F_1

$$Q = -\frac{x}{l_1} - \frac{l_1}{2l} \omega_D$$

rechts vom Querträger F_2

$$Q = -\frac{l_2^2}{2l l_1} \omega_D$$

$$Q = \frac{x'}{l_1} - \frac{l_1}{2l} \omega_D$$

Zur schnellen Berechnung einer **Eisenbahnbrücke** empfiehlt sich die Anwendung der für **parabelförmige Einflußlinien** auf S. 142 bis 146 angegebenen Formeln und Tabellen.

Aus den beiden Gleichungen zur rechnerischen Ermittlung der Ordinaten der X_a -Linie ergibt sich für den Inhalt der X_a -Fläche

$$\mathfrak{F} = \frac{l}{2} + \frac{l_1^2 + l_2^2}{8 l_1 l_2}.$$

$$\mathfrak{F} = \frac{2}{3} z l$$

liefert

$$z = \frac{3}{4} + \frac{3}{16} \frac{l_1^2 + l_2^2}{l l_1 l_2} \left. \vphantom{\frac{3}{16} \frac{l_1^2 + l_2^2}{l l_1 l_2}} \right\} \dots \dots \dots (138)$$

$$\max X_a = P_i z.$$

$\min A$ erhält man wie folgt. Der Inhalt der negativen Beitragsfläche ist

$$\frac{l_2^2}{2 l l_1} \int_0^{l_2} \omega_D dx = \frac{l_2^3}{8 l l_1}.$$

$$\text{Aus } \frac{2}{3} z l_2 = \frac{l_2^3}{8 l l_1} \text{ folgt}$$

$$z = \frac{3}{16} \frac{l_2^2}{l l_1} \left. \vphantom{\frac{3}{16} \frac{l_2^2}{l l_1}} \right\} \dots \dots \dots (139)$$

$$\min A = -P_i z$$

Für $\max A$ liefse sich die gefährlichste Zugstellung leicht ermitteln. Man kommt aber rascher zum Ziele mit der Gleichung

$$\max A = A_0 - p \frac{l_1}{2l} \int_0^{l_1} \omega_D dx = A_0 - p \frac{l_1^2}{8l},$$

worin A_0 den Auflagerdruck A eines einfachen Balkens von der Stützweite l_1 bedeutet (s. Tafel auf S. 74), p den der Bedingung $p \frac{l_1}{2} = A_0$ entsprechenden Belastungsgleichwert.

$$\text{Demnach ist} \quad \max A = A_0 \left(1 - \frac{l_1}{4l}\right) \dots \dots \dots (140)$$

Einfacher ist nach Gleichung 133a (S. 160)

$$\max A = 0,91 A_0$$

Ferner ist $\min M_m = x_m \min A$

und nach Gleichung (129) und (131)

$$\max M_m = \max M_{0m} \gamma_m \gamma'_m$$

Zur Berechnung des Stützenmomentes M_a verfähre man nach den Erläuterungen auf S. 157 bis 158.

Die Querkräfte der Oeffnung l_1 sind bei Belastung dieser Oeffnung nach Gleichung (135) und (134)

$$\begin{aligned} \min Q &= \psi' \min Q_0 \\ \max Q &= \psi \max Q_0 \end{aligned}$$

Von Fall zu Fall ist zu erwägen, ob bei Belastung der Oeffnung l_2 für die rechte Beitragsstrecke noch der Wert $\min A$ oder $\mathfrak{F} \cdot \frac{13}{3} \frac{t}{m}$ hinzugezählt werden muß; $\mathfrak{F} = \frac{l_2^3}{8 l l_1}$ ist der Inhalt der rechten Beitragsfläche.

Der Einfluß von beweglichen Lasten auf den **Balken auf 4 und 5 Stützen** wird am besten mit Hülfe eines statisch unbestimmten Hauptsystems berechnet (s. S. 122). Man reduziert den zweifach statisch unbestimmten Balken auf 4 Stützen (Abb. 127a) zunächst auf einen einfach statisch unbestimmten Balken auf 3 Stützen mit überragendem Ende (Abb. 127b). Die Elastizitätsgleichungen (17a) liefern dann

$$X_a = \frac{\sum P_m \delta_{ma}}{\delta_{aa}}$$

Für den Belastungszustand $X_a = -1$ ist das Stützenmoment in c gleich $-1 \cdot l_1$; mit Hülfe der durch den Festpunkt R verlängerten Momentenlinie erhält man in d das Moment $\frac{1 \cdot l_1 l_2}{2(l_2 + l_3)}$ (s. Gleichung 56a). Zu der in Abb. 127c erhaltenen M_a -Fläche als Belastungsfläche zeichnet man mit der Polweite 1 das Seilpolygon, das **Einflußlinie für X_a** mit dem Multiplikator $\mu = \frac{1}{\delta_{aa}}$ wird (Abb. 127d).

Die Punkte c' , d' , b' müssen auf einer Geraden liegen! Dem Festpunkte R entspricht ein Wendepunkt R' der Biegelinie. Der Maßstab ist gleichgültig, sofern es sich nur um den Einfluß von P handelt. Bei veränderlichem Querschnitt multipliziert man die Ordinaten der belastenden M_a -Fläche mit $\frac{Jc}{J}$ (s. S. 160).

Will man die X_a -Linie mit $\mu = 1$ erhalten, so dividiere man die Ordinaten der M_a -Fläche durch $EJ\delta_{aa} = \int M_a^2 dx$ (s. Gleichung 94a). Das Integral ist für alle 3 Öffnungen zu ermitteln! Man erhält dadurch die neue Belastungsfläche in Abb. 127e mit den Ordinaten z_c und z_d über den Mittelstützen und zeichnet dazu das Seilpolygon mit der Polweite 1. Unter dem Auflager a ist die Ordinate $= 1$; unter den anderen Stützen wieder $= 0$. Die Rechnung mit Hilfe der ω -Werte liefert in der ersten Öffnung

$$\eta_1 = 1 \frac{x'}{l_1} - z_c \frac{l_1^3}{6} \omega_D \quad (x \text{ von links ausgehend}),$$

in der zweiten Öffnung

$$\eta_2 = (z_c + z_d) \frac{l_2^3}{6} \omega_D - z_c \frac{l_2^2}{2} \omega_R \quad (x \text{ von links ausgehend}),$$

in der dritten Öffnung

$$\eta_3 = z_d \frac{l_3^3}{6} \omega_D \quad (x \text{ von rechts ausgehend}).$$

In diese Formeln sind die Werte z absolut einzusetzen. Die X_b -Linie wird analog gefunden.

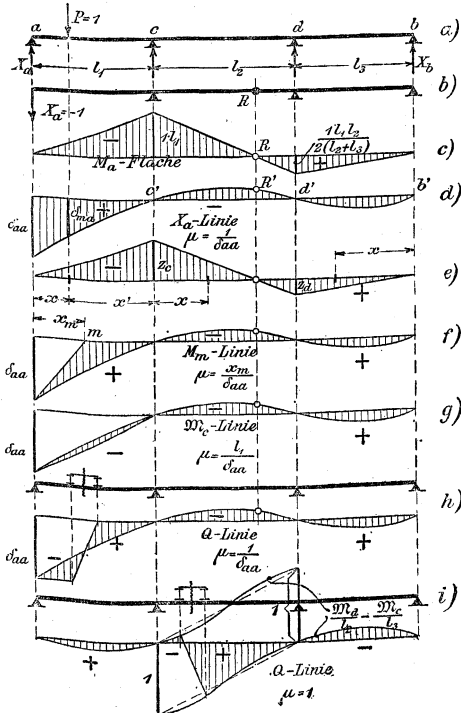
Der Einfluss von Temperaturänderungen und Stützenverschiebungen ist mit Hilfe der T -Momente (S. 150) zu untersuchen.

Ebenso verfährt man bei dem Balken auf 5 Stützen.

Aus der X_a -Linie lassen sich die anderen Einflusslinien in ähnlicher Form ableiten wie bei dem Balken auf 3 Stützen (S. 162). So findet man die **Einflusslinie für das Moment M_m** an der Stelle m der ersten Öffnung nach Abb. 127f; der Multiplikator ist $\mu = \frac{x_m}{\delta_{aa}}$.

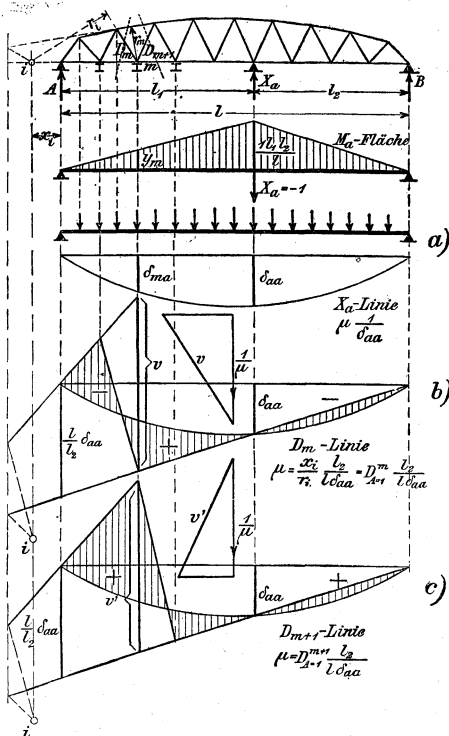
Abb. 127g zeigt die **Einflusslinie für das Stützmoment M_c** mit $\mu = \frac{l_1}{\delta_{aa}}$. Abb. 127h gibt die Kon-

Abb. 127.



struktion der Q -Linie an; $\mu = \frac{1}{\delta_{aa}}$. Zur Untersuchung der Mittelöffnung führt man die Multiplikation der M_a -Linie und der aus der X_b -Linie gefundenen M_d -Linie mit ihren Multiplikatoren aus und konstruiert

Abb. 128.



dann mit ihrer Hülfe für die Öffnung l_2 die Spitzenkurven und alle Einflusslinien (s. S. 154). In Abb. 127i ist eine Q -Linie für die Mittelöffnung gezeichnet (vgl. Abb. 119b).

Die Berechnung eines Fachwerkbalkens auf 3 Stützen gestaltet sich ähnlich wie bei dem vollwandigen Träger. Als statisch unbestimmbare Größe wird die Reaktion X_a der Mittelstütze eingeführt (Abb. 128a). Man zeichnet für den Zustand $X_a = -1$ entweder nach dem Williotischen oder Stabzugverfahren oder mit Hilfe der elastischen Gewichte w die Biegelinie der unteren Gurtung, die zur Einflusslinie für X_a wird;

$$\mu = \frac{1}{\delta_{aa}}.$$

Bei Ermittlung der Biegelinie darf man die Füllungsstäbe starr annehmen und sich auf den Einfluss der Gurtungen beschränken. Das

elastische Gewicht wird (s. Gleichung 73a und 74a) bei der hier zulässigen Annahme konstanter Werte E und F für einen Obergurt- bzw. Untergurtstab

$$EFw_m = \mp EF \frac{\Delta s_m}{r_m} = \mp \frac{y_m s_m}{r^2 m} \dots (141)$$

worin $y_m = M_{am}$, dem Biegemoment des Knotenpunktes m für den Zustand $X_a = -1$, ist. Zu diesen w -Kräften wird das Seilpolygon mit Polweite 1 als Biegelinie gezeichnet, deren Ecken unter den Querträgern liegen. Handelt es sich nur um den Einfluss von P , so steht die Wahl der Höhe der M_a -Fläche und der Polweite frei.

Für Parallelträger mit gleichen Feldweiten darf man das w -Gewicht noch weiter vereinfachen:

$$w_m = y_m \dots \dots \dots (142)$$

Die Einflußlinien für A , M_m (daraus für O_m und U_m), M_a und Q_m ergeben sich wie bei dem vollwandigen Balken aus der X_a -Linie (s. Abb. 126 b bis e). Die Einflußlinien für eine linkssteigende Diagonale D_m und eine rechtssteigende D_{m+1} sind in Abb. 128 b und 128 c gezeichnet. Betreffs der Werte v vgl. man S. 96. Zur Zerlegung nach v ist wegen des Multiplikators μ an Stelle der Kraft 1 die Kraft $\frac{1}{\mu}$ zu setzen.

Der Einfluß von Temperaturänderungen ist

$$X_{at} = \frac{\partial_{at}}{\partial_{aa}} \quad \text{und} \quad S_t = -X_{at} S_a.$$

Bei gleichmäßiger Erwärmung ist $\partial_{at} = 0$, wenn die 3 Auflagerepunkte auf einer Geraden liegen; ist letzteres nicht der Fall, vernachlässigt man ∂_{at} . Bei ungleichmäßiger Temperaturänderung der beiden Gurte ist dies nicht zulässig. Bezeichnet t_o die Temperatur des Obergurts, t_u die des Untergurts, so berechnet man die w -Gewichte w der Knotenpunkte des Untergurts infolge $t_o - t_u$ nach

$$w_{tm} = - \frac{\varepsilon (t_o - t_u) O_m}{r_m},$$

zeichnet dazu das Seilpolygon mit der Polweite 1 und erhält unter der Mittelstütze die Verschiebung ∂_{at} . Damit wird

$$X_{at} = \mp \frac{\partial_{at}}{\partial_{aa}},$$

negativ oder positiv, je nachdem die obere oder die untere Gurtung stärker erwärmt wird.

B. Der Zweigelenkbogen.

Als statisch unbestimmte Größe X_a führt man den Horizontal-schub des Bogens (Abb. 134) ein. Die Auflagerkräfte sind bei starren Widerlagern

$$X_a = \frac{\sum P_m \delta_{ma}}{\delta_{aa}} + \frac{\partial_{at}}{\delta_{aa}} \quad (\text{s. Gleichung 63 a}),$$

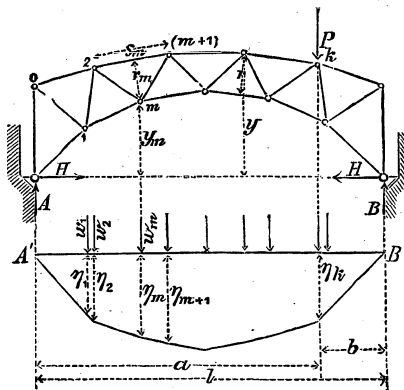
$$H = X_a, \quad A = \sum P \frac{b}{l} \quad \text{und} \quad B = \sum P \frac{a}{l}.$$

Um die Einflußlinie für $X_a = H$ zu finden, belastet man einen einfachen Balken von der Stützweite l mit den elastischen Gewichten w (Gleichung 73 a und 74 a) und rechnet das Seilpolygon (S. 129), d. i. die Biegelinie, für den Zustand $X_a = -1$ (Abb. 129).

Besteht der Bogen aus Fachwerk und einem mittleren vollwandigen Teil (Abb. 106), dann kommen zu den elastischen Gewichten nach Gleichung 73 a und 74 a noch die des vollwandigen Teiles nach

Gleichung 84 hinzu, und zwar in der Regel nur die auf die Momente und gleichmäßige Temperaturänderung bezüglichen.

Abb. 129.



Das w -Gewicht ist bei starrangenommenen Füllungsstäben

$$EF_c w_m = \frac{y_m s_m}{r_m^2} \cdot \frac{F_c}{F_m},$$

worin y_m gleich dem Moment für den Punkt m infolge $X_a = -1$, F_c irgend ein konstanter Querschnitt und F_m der Querschnitt des Stabes s_m ist. In Abb. 130 fallen je zwei Knotenpunkte m in die Lotrechte, weshalb die ihnen zugeschriebenen Gewichte zu addieren sind.

Für den Einfluss der Lasten P_m ergibt sich

$$\delta_{ma} = \frac{\eta_m}{EF_c},$$

wenn η_m die zu P_m gehörige Ordinate der Biegelinie ist;

$$\delta_{aa} = \Sigma S^2 a \frac{s}{EF} \quad (\text{s. Gleichung 60}),$$

nach Einsetzung von $S_a = \mp \frac{y}{r}$ und Multiplikation mit $\frac{EF_c}{EF_c}$

$$\delta_{aa} = \frac{1}{EF_c} \Sigma \left(\frac{y^2 s_m}{r_m^2} \frac{F_c}{F_m} \right) = \frac{1}{EF_c} \Sigma z_m$$

und

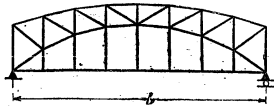
$$X_a = H = \frac{\Sigma P_m \delta_{ma}}{\delta_{aa}} = \frac{\Sigma P_m \eta_m}{\Sigma z_m} \quad \dots \quad (143)$$

Die X_a -Linie oder **H-Linie** findet man nach Ausrechnung ihrer Ordinaten. Das Gewicht w_0 hat auf die Ordinate η_m keinen Einfluss, wohl aber auf Σz_m .

Der Einfluss einer gleichmäßigen Erwärmung ist

Abb. 130.

$$H_t = \frac{\delta_{at}}{\delta_{aa}} = \frac{\varepsilon E t l F_c}{\Sigma z_m} \quad (144)$$



weil $\delta_{at} = \varepsilon t l$ gleich der Aenderung der Stützweite ist.

Wenn der **Horizontalschub des Bogens durch ein Zugband aufgehoben** wird (Abb. 130), ist der Träger äußerlich

statisch bestimmt, innerlich aber nach H , der Spannkraft des Zugbandes, statisch unbestimmt.

$$\text{Es wird} \quad \delta_{aa} = \frac{1}{EF_c} \left(\Sigma z_m + \frac{F_c}{F_z} l \right),$$

wo F_z den Querschnitt des Zugbandes bedeutet, und

$$H = \frac{\Sigma P_m \cdot \eta_m}{\Sigma z_m + \frac{F_c}{F_z} l} \quad \dots \quad (145)$$

Bei Dachbindern darf man das Glied $\frac{F_c}{F_z} l$ streichen, auch für den Fall einer leichten Sprengung des Zugbandes.

Die Momente folgen, wie bei dem einfachen Zweigelenkbogen, der Gleichung

$$M_m = M_0 m - H y_m.$$

Eine gleichmäßige Temperaturänderung des Systems gibt $H_t = 0$, ungleichmäßige liefert annähernd

$$H_t = \frac{\varepsilon E F_c l}{\Sigma z_m} \Delta t \quad \dots \quad (145a)$$

wenn die Temperatur des Zugbandes von der des übrigen Bogens um Δt unterschieden ist.

Besondere Fälle.

Hat der **Bogen nahezu unveränderliche Höhe** (Abb. 131), so darf man den Mittelwert von h konstant annehmen, $F_c : F_m = 1$ setzen, unter F_c einen mittleren Gurtquerschnitt verstanden, und für s einen mittleren Wert, die Feldweite λ , einführen. Man rechnet also mit

$$\frac{h^2}{\lambda} E F_c w_m = y_m \quad \text{und} \quad z_m = y_m^2 \quad \dots \quad (146)$$

Der Horizontalschub infolge gleichmäßiger Erwärmung ist

$$H_t = \frac{\varepsilon E t l h^3 F_c}{\lambda \Sigma z_m} \quad \dots \quad (147)$$

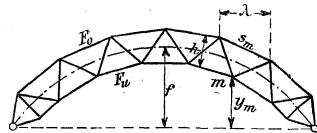
Wenn die Bogenachse einer Parabel oder einem flachen Kreisbogen folgt, darf man die Einflußlinie für den Horizontalschub durch eine **parabolische H-Linie** von der Gleichung

$$\left. \begin{aligned} H &= \frac{3ab}{4fl} \nu \quad \text{und dem Pfeil } z = \frac{3l}{16f} \nu \\ \text{ersetzen, worin } \nu &= \frac{1}{1 + \frac{15}{32} \frac{h^2}{f^2}} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (148)$$

und f gleich der Pfeilhöhe der Bogenachse ist. Die Zahl ν unterscheidet sich nur wenig von 1. Der Temperatureinfluss wird

$$H_t = \frac{15 \varepsilon E t h^3 F_c}{16 f^2} \nu \quad \dots \quad (149)$$

Abb. 131.



Bei dem **Sichelträger** (Abb. 132) wird, wenn F_c einen mittleren Gurtquerschnitt bedeutet, $\frac{F_c}{F_m} = 1$ gesetzt. Daraus folgt

$$\left. \begin{aligned} EF_c w_m &= \frac{y_m s_m}{r^2 m}, & z_m &= \frac{y^2 m s_m}{r^2 m} \\ \text{und} & & H_t &= \frac{\varepsilon E t l F_c}{\Sigma z_m} \end{aligned} \right\} \quad (150)$$

Am Knotenpunkt 2 (vgl. Abb. 133) hilft man sich mit den Formeln

$$EF_c w_2 = \frac{y_1 s_1}{r^2_1} + \frac{y_2 s_2}{r^2_2} \quad \text{und} \quad z_2 = \frac{y^2_1 s_1}{r^2_1} + \frac{y^2_2 s_2}{r^2_2}.$$

Abb. 132.

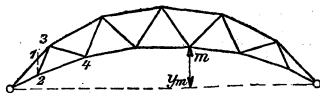
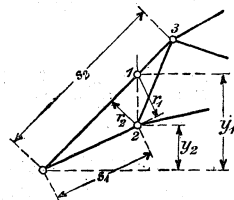


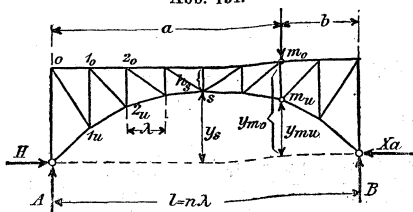
Abb. 133.



Sind die Stablängen s_m wenig verschieden, dann empfiehlt es sich, s rund λ anzunehmen; dadurch erhält man

$$\left. \begin{aligned} \frac{EF_c}{\lambda} w_m &= \frac{y_m}{r^2 m}, & z_m &= \frac{y^2 m}{r^2 m} \\ H_t &= \frac{\varepsilon E t l F_c}{\lambda \Sigma z_m} \end{aligned} \right\} \quad (151)$$

Abb. 134.



Bei **Zweigelenkbogen mit wagerechtem oder schwach gekrümmtem Obergurt** (Abb. 134) wird das Verhältnis der Gurtquerschnitte $F_o : F_u$ in der Nähe des Bogenscheitels ausschlaggebend für die Resultate. Man wählt $F_c = F_o$, dem Obergurtquerschnitt im Scheitel, und

erhält, indem man $r = \frac{h}{\sec \dots}$, $s = \lambda \sec \dots$ und $\sec^3 \dots = 1$ setzt, bei gleichen λ

$$\left. \begin{aligned} \frac{EF_o}{\lambda} w_m &= \frac{y_m u + y_m o \frac{F_o}{F_u}}{h^2 m} \\ z_m &= \frac{y^2 m u + y^2 m o \frac{F_o}{F_u}}{h^2 m} \\ \text{und} & & H_t &= \frac{\varepsilon E F_o l}{\lambda \Sigma z_m} t \end{aligned} \right\} \quad (152)$$

Für den Scheitel ergibt sich

$$\frac{E F_0}{\lambda} w_s = 2 \frac{y_s}{h_s^2} \quad \text{und} \quad z_s = 2 \frac{y_s^2}{h_s^2}.$$

Bei den üblichen Scheitelhöhen von $h_s = \frac{l}{40}$ bis $\frac{l}{60}$ setze man $\frac{F_0}{F_u} = 1$, beachte aber, dafs in den mittelsten 4 bis 6 Feldern dieses Querschnittsverhältnis auch wirklich ausgeführt werden mufs.

Die übrigen Einflusslinien des Zweigelenkbogens findet man aus der H -Linie.

Abb. 135.

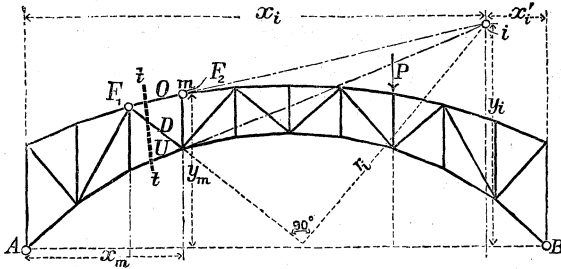
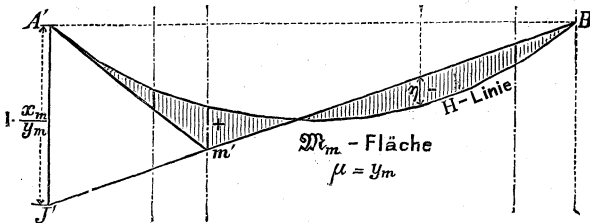


Abb. 136.



Die M_m -Linie folgt aus der Beziehung (Abb. 135)

$$M_m = M_0 - H \cdot y_m = y_m \left(\frac{M_{0m}}{y_m} - H \right).$$

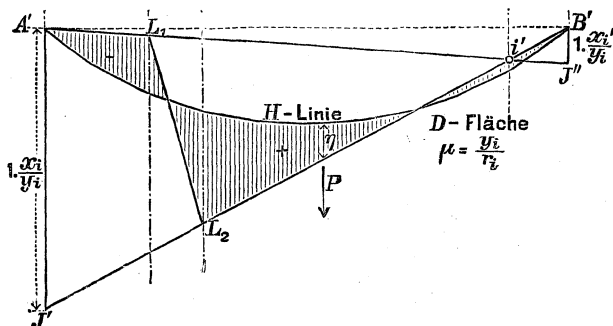
M_{0m} ist das einfache Balkenmoment an der Stelle m . Man zieht von der mit $\frac{1}{y_m}$ multiplizierten M_{0m} -Fläche die H -Fläche ab (Abb. 136). Der Multiplikator ist $\mu = y_m$. Aus den M -Linien ergeben sich die O - und U -Linien.

Die Einflusslinien für die Füllungsstäbe lassen sich, z. B. für D , aus der Bedingung ableiten

$$D = \frac{M_{0i}}{r_i} - H \frac{y_i}{r_i} = \frac{y_i}{r_i} \left(\frac{r_i}{y_i} D_0 - H \right).$$

Der Index 0 bezieht auf den einfachen Balken. Zur Ermittlung der **D-Linien** (Abb. 137) ist die H -Linie von der $\frac{r_i}{y_i}$ D_0 -Linie abzuzeichnen. Man nehme $A'J'=1$ ($x_i:y_i$), ziehe die beiden Geraden $J'B'$ und $A'J''$, die sich in i' senkrecht unter i schneiden müssen, und

Abb. 137.



trage die dem fraglichen Felde $F_1 F_2$ entsprechende Gerade $L_1 L_2$ ein. Der Multiplikator ist $\mu = (y_i:r_i)$.

Um die Werte

$$\frac{x_i}{y_i} \text{ und } \frac{y_i}{r_i}$$

für die Einflusslinien der Diagonalen zu finden, ist die Beziehung wichtig

$$\frac{x_i}{y_i} = \frac{D_{A=1}}{D_{H=1}}, \quad \frac{x'_i}{y_i} = \frac{D_{B=1}}{D_{H=1}} \quad \text{und} \quad \frac{y_i}{r_i} = D_{H=1}.$$

Die Größen $D_{A=1}$, $D_{B=1}$ und $D_{H=1}$ lassen sich entweder aus Cremonaschen Kräfteplänen für $A=1$, $B=1$ und $H=1$ zeichnerisch ermitteln, oder nach den folgenden Formeln (s. auch S. 92) rechnen:

$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi_m D_m (A=1) &= \frac{x_m}{h_m} - \frac{x_{m-1}}{h_{m-1}} \\ \cos \varphi_m D_m (B=1) &= \frac{x'_m}{h_m} - \frac{x'_{m-1}}{h_{m-1}} \\ \cos \varphi_m D_m (H=1) &= \frac{y_m}{h_m} - \frac{y_{m-1}}{h_{m-1}} \end{aligned} \right\} \dots (153)$$

h_m ist die Trägerhöhe im Punkte m ; φ_m der Winkel, den die Diagonale D_m mit der Wagerechten einschließt.

Die Elastizitätsgleichung für den vollwändigen Bogen mit zwei Gelenken ergibt sich aus der Bedingung (Abb. 138a)

$$\Delta l = \int \Delta ds \cos \varphi + \int y \tau,$$

und zwar ist Δl , wenn die Widerlager starr sind, $= 0$. Mit Rücksicht auf $\tau = \frac{M ds}{EJ}$ und $ds \cos \varphi = dx$ erhält man

$$\Delta l = \int \frac{N dx}{EF} + \int \frac{My dx}{EJ'} + \epsilon t l \quad \dots \quad (154)$$

worin $J' =$ dem mittleren Werte von $J \cos \varphi$ ist. Das erste Integral hat auf das Resultat nur geringen Einfluß und kann bei nicht sehr flachen Bogen fortfallen. Im übrigen empfiehlt sich die Annäherung $N = -H \cdot \sec \varphi$,

so daß $\int \frac{N dx}{EF} = -\frac{H \cdot l}{EF'}$ wird, wo F' den mittleren Wert von $F \cdot \cos \varphi$ bedeutet. M im zweiten Integral wird durch $M_0 - H \cdot y$ ersetzt ($M_0 = M$ für den einfachen Balken von der Stützweite l) und liefert

$$\int \frac{My dx}{EJ'} = \frac{1}{EJ'} \int M_0 y dx - \frac{H}{EJ'} \int y^2 dx.$$

Bezeichnet \mathfrak{F}_y die Fläche zwischen Bogen und Sehne, ferner e den Schwerpunktabstand der \mathfrak{F}_y -Fläche von der Sehne (Abb. 138b), so wird $\int y^2 dx = 2 \mathfrak{F}_y \cdot e$; im besonderen bei dem parabolischen Bogen und bei dem flachen Kreisbogen

$$\int y^2 dx = \frac{8}{15} f^2 l \quad \dots \quad (155)$$

worin f der Pfeil der Bogenachse ist.

Man erhält für beliebige Bogenform

$$\left. \begin{aligned} H &= \frac{\int M_0 y dx}{\int y^2 dx} \nu \\ \text{mit } \nu &= \frac{1}{1 + \frac{J' l}{F' \int y^2 dx}} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (156)$$

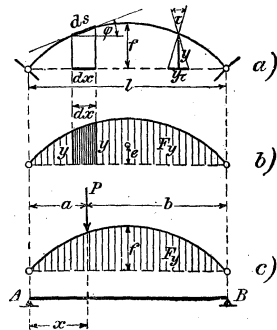
für Parabel- und flache Kreisbogen

$$\left. \begin{aligned} H &= \frac{\int M_0 y dx}{\frac{8}{15} f^2 l} \nu \\ \text{mit } \nu &= \frac{1}{1 + \frac{15 J'}{8 f^2 F'}} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (157)$$

Eine Last P bewirkt (Abb. 138c)

$$\int M_0 y dx = P \cdot M_y;$$

Abb. 138.



M_y ist das Biegemoment an der Stelle $x = a$ des einfachen Balkens AB infolge der Belastung durch die \mathfrak{F}_y -Fläche. Für Einzellasten folgt demnach bei beliebiger Bogenform

$$H = \frac{P \cdot M_y}{\int y^2 dx} \nu' \quad (156a)$$

Bei Parabel- und flachen Kreisbogen ergibt sich für die H -Linie eine Kurve, an deren Stelle man eine Parabel von der Pfeilhöhe

$$z = \frac{3l}{16f} \nu' \quad (158)$$

setzen kann. Die im Kräfteaufstab aufzutragenden **Ordinaten der parabolischen H -Linie** folgen dann der Gleichung

$$H = \frac{3}{4} \frac{ab}{fl} \nu' \quad (157a)$$

(vgl. auch S. 169, Fachwerkbogen von konstanter Höhe h).

Bei dem **vollwandigen Zweigelenkbogen mit aufgebobenem Horizontal-schub** (Abb. 139) ist $\Delta l = \frac{H \cdot l}{E F_z}$, wenn der Querschnitt des Zugbandes $= F_z$ ist. Man erhält daher für Parabel- und flache Kreisbogen

$$H = \frac{3}{4} P \frac{ab}{fl} \nu',$$

worin

$$\nu' = \frac{1}{1 + \frac{15}{8} \frac{J'}{F' f^2} \left(1 + \frac{F'}{F_z}\right)} \quad (159)$$

wird.

H_t ist bei gleichmäßiger Erwärmung $= 0$. Für Dachbinder darf man selbst bei leicht gesprengter Zugstange $\nu' = 1$ setzen.

Zur Untersuchung des vollwandigen Bogens bedarf es der **Kernpunktmente M^o und M^u** . Es genügt, die Kernpunkte o und u in dem lotrechten, der Pfostenmitte entsprechenden Schnitt s anzunehmen (Abb. 140a). Für den radialen Querschnitt (Abb. 140b) sind die Widerstandsmomente

$$W^o = \frac{J}{e_o}, \quad W^u = \frac{J}{e_u},$$

Abb. 139.

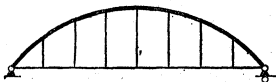
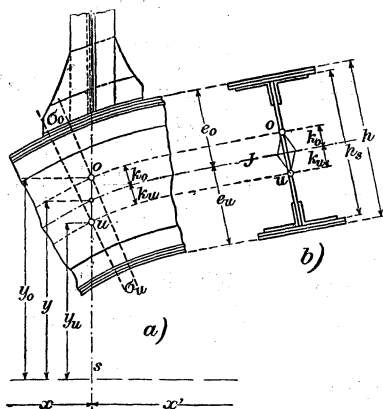


Abb. 140.



die Kernradien (s. auch Bd. I, 4. Abschnitt, Zusammengesetzte Festigkeit)

$$k_o = \frac{W^u}{F}, \quad k_u = \frac{W^o}{F},$$

wenn F den Querschnitt abzüglich der Nietschwächung bedeutet,
und die Spannungen der äußersten Bogenfasern

$$\sigma_o = -\frac{M^u}{W^o}, \quad \sigma_u = +\frac{M^o}{W^u} \quad . \quad . \quad . \quad (160)$$

Die **Einflusslinien** für die Kernpunktmomente, M^0 z. B., ergeben sich aus der Gleichung

$$M^o = M_0 - H \cdot y^o = y^o \left(\frac{M_0}{y^o} - H \right).$$

Das heißt von der $\frac{M_0}{y^0}$ -Fläche ist die H -Fläche abzuziehen; der Multiplikator ist $\mu = y^0$ (Abb. 141). Abb. 141.

Eine Last, die lotrecht über der Lastscheide E steht, erzeugt zwei Kämpferdrücke, die sich mit P im Punkte E' schneiden. Der Abstand

$\eta_k = P \frac{a \cdot b}{l \cdot H}$ bestimmt für die wandernde Last den geometrischen Ort aller Punkte E' , die sogen. **Kämpferdrucklinie**. Für den Parabel- und flachen Kreisbogen ergibt sich der konstante Wert

$$\eta_k = \frac{4f}{3\nu}; \quad (161)$$

die Kämpferdrucklinie ist dann parallel zur Sehne AB .

Gleichmäßige Vollbelastung mit q (Eigengewicht) gibt

$$\bar{H}_g = g \frac{l^2}{8f} \nu \text{ (folgt aus Gleichung 157a)}$$

und

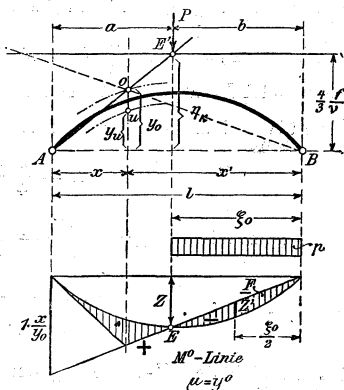
$$M_g^{(u)} = g \frac{xx'}{2} - H_g \cdot y_{o(u)} \quad (162)$$

Die Kernpunktmente infolge gleichförmig verteilter Verkehrs-
last p sind (Abb. 141):

$$\left. \begin{aligned} \min M^0 &= p \mathfrak{F} y_0 = -p y_0 \frac{\xi_{3_0}^3}{8fl} \nu \\ \text{(es verhält sich der Inhalt } \mathfrak{F} \text{ zum Inhalt der para-} \\ \text{bolischen } H\text{-Linie wie } \xi_{3_0}^3 : l^3) \text{ und} \\ \max M^0 &= p \frac{x x'}{2} - \frac{p y_0}{8fl} (l^3 + \xi_{3_0}^3) \nu \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (163)$$

Ähnlich bei zwei Lastscheiden und für $\min M''$ und $\max M''$.

Abb. 141.



Der **Einfluß einer Temperaturänderung** auf H ergibt sich für vollwandige Parabel- und flache Kreisbogen unter Vernachlässigung der Achsialkraft aus

$$\epsilon t l = \int \frac{M y dx}{E J'} = \frac{H t}{E J'} \int y^2 dx$$

zu

$$H t = \frac{15}{8} \frac{\epsilon E t J'}{f^2} \quad \dots \quad (164)$$

Zur Sicherheit setze man hierin statt J' das größte Trägheitsmoment J des Bogens ein. Die entsprechenden Momente werden

$$M_t^{(u)} = H t \cdot y_o(u).$$

Die **Querschnitte** sind von vornherein nicht bekannt. Man nimmt daher zu ihrer überschläglichen Bestimmung zunächst an, die Bogenachse liege in $\frac{1}{2} h_s$, d. h. in halber Stehblechhöhe, und schätzt die Kernradien $k_o = k_u = \frac{5}{12} h_s$, wobei es sich empfiehlt, h_s etwa $\frac{1}{50} l$ und $h = 1,1 h_s$ zu wählen. Dann werden die Kernpunktmomente in $\frac{l}{4}$ gesucht. Man berechne die H -Linie nach

$$H = \frac{3}{4} \frac{a b}{f l} \nu,$$

indem man mit Bezug auf $\frac{J'}{F'} = \frac{J}{F}$

$$\nu = \frac{1}{1 + \frac{25}{64} \frac{h_s h}{f^2}}$$

einsetzt. Mit der H -Linie ergeben sich die M^o - und die M^u -Linie, so daß die zur Dimensionierung erforderlichen Momente infolge beweglicher Lasten $\min M_p^o$ und $\max M_p^u$ ermittelt werden können [für Eisenbahnbrücken am besten mit Hilfe der parabolischen Einflußlinien (s. S. 142 u. f.)].

Dazu kommen noch die Momente $M_t^{(u)}$ infolge Eigengewichts (Gleichung 162). Infolge einer Temperaturänderung entsteht

$$M_t^{(u)} = H t \cdot y_o(u) = - \frac{15}{8} \frac{\epsilon E t J y_o(u)}{f^2}$$

und die Spannung

$$\sigma_t = \frac{M_t^{(u)}}{2 J} h = - \frac{15}{16} \frac{\epsilon E t h y_o(u)}{f^2}.$$

Der zum größten Gesamtmoment $M_P + M_q + M_t$ gehörige Wert σ_t

ist von der zulässigen Spannung σ_z abziehen, worauf sich das in $\frac{l}{4}$ erforderliche Widerstandsmoment

$$W = \frac{M_P + M_G}{\sigma_z - \sigma_t}$$

ergibt. Mit Hilfe des entsprechenden Querschnittes berichtigt man den Wert ν und berechnet schließlich die Kernpunktmente $\min M^0$ und $\max M^0$.

Die **Einflußlinien für die Querkräfte** (Abb. 142) ergeben sich aus

$$Q = (A - \Sigma P) \cos \varphi - H \cdot \sin \varphi = \sin \varphi (Q_0 \cotg \varphi - H),$$

wo Q_0 = ist der Querkraft des einfachen Balkens, φ = dem Neigungswinkel der Sehne im fraglichen Felde. Von der mit $\cotg \varphi$ multiplizierten Q_0 -Fläche ist die H -Fläche abziehen; Multiplikator ist $\mu = \sin \varphi$. Die Lastscheide E liegt unter dem Punkt E' der Kämpferdrucklinie. Ist $\sin \varphi$ klein, rechne man Q_0 statt Q . Die Querkräfte infolge Eigengewichts sind bei Parabel- oder flachen Kreisbogen = 0 oder fast = 0. Die Werte Q sind zur Berechnung der Nietteilung erforderlich.

Zur Berechnung der Zweigelenkbogen von Eisenbahnbrücken wendet man am einfachsten die parabolischen Einflußlinien an. Z. B.: Die H -Linie ist nach Gleichung 148 und 158 eine

Parabel von der Pfeilhöhe $z = \frac{3l}{16f} \nu$.

Mit dem zur Spannweite l des Bogens gehörigen Werte P_i aus der Tabelle auf S. 143 bis 145 ergibt sich

$$\max H = P_i z.$$

Für $\min M^0$ (Abb. 141) ist $z' = z \frac{\xi_0^2}{l^2}$, worin $z = \frac{3l}{16f} \nu$ (nach Gleichung 158); es wird

$$\min M^0 = P_i z',$$

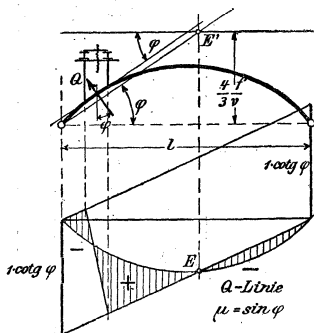
wenn P_i für $u = \xi_0$ der Tabelle entnommen wird.

Zur Ermittlung der anderen Grenzwerte von M und Q s. Müller-Breslau, Graphische Statik, II. Bd., 2. Abt., S. 541 u. 550.

C. Kette über eine Oeffnung, versteift durch einen einfachen Balken (Abb. 143).

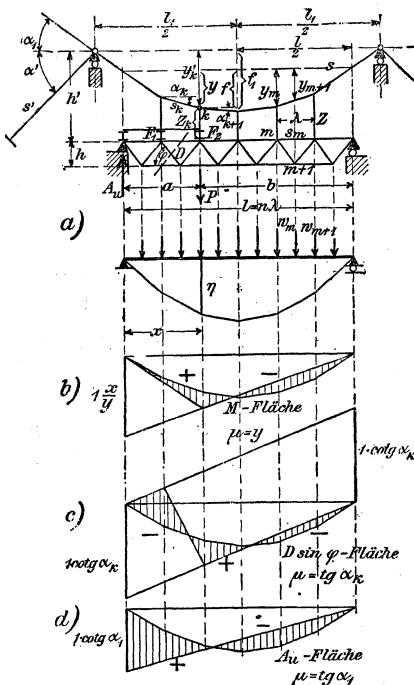
Das System ist einfach statisch unbestimmt. Statisch bestimmtes Hauptnetz ist der einfache Balken, wenn $X = H =$ dem Horizontalzug

Abb. 142.



der Kette, gesetzt wird. Nach Gleichung 58a und 59 wird bei starren Widerlagern der Einfluss von Einzellasten P

Abb. 148.



$$M_{am} = 1 \cdot y_m.$$

Unter Annahme starrer Diagonalen werden die elastischen Gewichte (vgl. Zweigelenkbogen S. 168)

$$E F_c w_m = \frac{F_c}{F_m} \cdot \frac{y_m s_m}{r_m^2}.$$

Man darf bei Berechnung der w -Gewichte allen Gurtstäben des Versteifungsbalkens denselben mittleren Gurtquerschnitt F_c zuschreiben

und daher $\frac{F_c}{F_m} = 1$ setzen. Das gibt

$$E F_c w_m = \frac{y_m s_m}{r_m^2}.$$

$$H = \frac{\sum P_m \delta_m a}{\sum S_a^2 \varrho},$$

der einer Temperaturänderung

$$H = \frac{\sum S_a \varepsilon t s}{\sum S_a^2 \varrho}.$$

Die Verschiebungen $\delta_m a$ erhält man mit Hilfe des zu den w -Gewichten für einen einfachen Balken von der Stützweite l gerechneten Momentenpolygone (s. S. 128). Die Summenausdrücke werden gleichfalls gerechnet.

Im Zustande $H = -1$ entstehen in der Kette die Drücke $1 \sec \alpha$ und in den Hängestangen z die Drücke $1 (\tg \alpha_k - \tg \alpha_{k+1})$. Das Seilpolygon zu den Kräften z ist die Kette; die zwischen Kette und der zur Stützweite l gehörigen Schlusslinie s liegende Fläche mit den Ordinaten y wird Culmannsche Momentenfläche der z -Kräfte mit der Polweite H . Die auf den Versteifungsträger infolge des Zustandes $H = -1$ einwirkenden Momente sind daher

Mit den Bezeichnungen

η für die Ordinaten des Seilpolygons zu diesen Gewichten,
 F'_k für den Scheitelquerschnitt der Tragkette zur Aufnahme von
 H_{\max} ,
 α_k für den Neigungswinkel der Kettenglieder,
 F_z für den konstant angenommenen Querschnitt der Hängestangen,
 z_k für deren Längen, mit $\Sigma z_m = \Sigma \frac{y_m^2 s_m}{r_m^2}$

und mit Rücksicht darauf, daß $\Sigma S_a^2 \varrho$ sich nicht nur über den Balken, sondern auch über die Hängestangen, die Trag- und Rückhaltketten erstreckt, erhält man

$$\left. \begin{aligned} \Sigma S_a^2 \varrho &= \frac{1}{EF_c} \mathfrak{N} \quad \text{und} \quad H = \frac{\Sigma P \eta}{\mathfrak{N}}, \quad \text{worin} \\ \mathfrak{N} &= \Sigma z_m + \frac{F_c}{F'_k} (\Sigma s_k \sec \alpha_k + s' \sec \alpha' + s'' \sec \alpha'') \\ &\quad + \frac{F_c}{F_z} \Sigma z_k (\operatorname{tg} \alpha_k - \operatorname{tg} \alpha_{k+1})^2 \end{aligned} \right\} \quad (165)$$

Das zweite Glied von \mathfrak{N} gewinnt bei der zulässigen Annahme einer stetig gekrümmten parabolischen Kette eine einfachere Form; das dritte Glied darf ganz fortfallen. \mathfrak{N} geht über in

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{N} &= \Sigma z_m + \frac{F_c}{F'_k} s_0, \quad \text{wo} \\ s_0 &= l_1 \left(1 + \frac{16}{3} \frac{f_1^2}{l_1^2} \right) + s' \sec \alpha' + s'' \sec \alpha'' \end{aligned} \right\} \quad (166)$$

Eine Aenderung der Aufstellungstemperatur um den für alle Glieder des Balkens, der Kette und der Hängestäbe gleichbleibenden Betrag von t^0 liefert

$$H_t = - \frac{\epsilon E t F_c \Sigma S_a s}{\mathfrak{N}}.$$

Da es aber bei Berechnung von $\Sigma S_a s$ zulässig ist, den Einfluß des Balkens auszuschalten, entsteht unter der Annahme einer parabolischen Kette

$$H_t = - \frac{\epsilon E t F_c}{\mathfrak{N}} \left(s_0 + \frac{8 f_1 (3 h' - 2 f_1)}{3 l_1} \right). \quad (167)$$

worin \mathfrak{N} und s_0 aus Gleichung 166 einzusetzen sind; $h' = y'_k + z_k$.

Eine Temperaturerhöhung hat demnach eine Abnahme des Horizontalzuges um H_t zur Folge.

Wenn der **Versteifungsbalken ein Parallelträger** von der Höhe h ist, dann rechnet man mit

$$EF_c \frac{h^2}{\lambda} w_m = y_m, \quad z_m = y_m^2,$$

$$\mathfrak{N} = \Sigma y_m^2 + \frac{h^2}{\lambda} \frac{F_c}{F'_k} s_0$$

und

$$H = \frac{\Sigma P \eta}{\mathfrak{N}}.$$

Man darf aber für diesen Fall noch die sehr bequeme Vereinfachung einer parabelförmigen H -Linie einführen, zu der man gelangt, wenn bei der bereits gemachten Annahme stetiger Krümmung der gleichmäßig belasteten Kette die Einzelgewichte w_m durch eine stetige Belastung w ersetzt werden, und wenn man an Stelle der sich daraus ergebenden H -Fläche mit einem inhaltgleichen Parabelsegment rechnet. Es ergibt sich für die **parabelförmige H -Linie** die Höhe

$$\left. \begin{aligned} z &= \frac{3l}{16f} \nu \\ \nu &= \frac{1}{1 + \frac{15}{16} \frac{h^2}{f^2} \frac{s_0}{l} \frac{F_c}{F_k}} \end{aligned} \right\} \dots \dots (168)$$

und f der Pfeil zwischen Kette und Schluslinie s ist. Die Ordinaten der H -Linie folgen der Gleichung

$$H = \frac{3ab}{4fl} \nu \dots \dots \dots (169)$$

Der Einfluss einer gleichmäßigen Erwärmung um t^0 wird entsprechend den obigen vereinfachenden Annahmen und bei Vernachlässigung der Beiträge der Hängestangen

$$H_t = -\epsilon Et F_k (1 - \nu) \dots \dots \dots (170)$$

Für die durch einen vollwandigen Balken versteifte Kette wird

$$\left. \begin{aligned} z &= \frac{3l}{16f} \nu \\ H &= \frac{3ab}{4fl} \nu \quad \text{und} \\ \nu &= \frac{1}{1 + \frac{15}{8} \frac{J}{F_k f^2} \frac{s_0}{l}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (171)$$

worin J das als unveränderlich angesehene Trägheitsmoment des Versteifungsbalkens ist und s_0 der Gleichung 166 entnommen wird.

Gleichmäßige Temperaturerhöhung erzeugt

$$H_t = -\epsilon Et F_k (1 - \nu) \dots \dots \dots (172)$$

wo ν aus Gleichung 171 einzusetzen ist.

Eine gleichförmig über die ganze Spannweite verteilte Belastung p gibt bei parabolischer H -Linie

$$H_p = \frac{pl^2}{8f} \nu \dots \dots \dots (173)$$

Es empfiehlt sich bei versteiften Hängebrücken, die ganze ständige Last vor Ausführung der Versteifung aufzubringen, d. h. vor Vernietung des Versteifungsbalkens, damit dieser nur durch wandernde Lasten beansprucht wird. Der Horizontalzug der Kette ist infolge der vor der Versteifung aufgetragenen gleichmäßigen Vollbelastung g_v

$$H_{gv} = \frac{g_v l^2}{8f} \dots \dots \dots (174)$$

Nach Ermittlung von $\max H$ ergeben sich in den Hängestangen die Kräfte

$$Z_{\max} = H_{\max} (\operatorname{tg} \alpha_k - \operatorname{tg} \alpha_{k+1}) = H_{\max} \frac{8f\lambda}{l^3}. \quad (175)$$

Das Biegemoment für irgend einen Knotenpunkt des Versteifungsträgers ist

$$M = M_0 - H \cdot y = y \left(\frac{M_0}{y} - H \right) \quad \dots \quad (176)$$

Daraus folgt die **Einflußlinie für M** (Abb. 143b); von der mit $\frac{1}{y}$ multiplizierten Einflußfläche für M_0 des einfachen Balkens von der Stützweite l ist die H -Fläche in Abzug zu bringen; Multiplikator ist $\mu = y$. Aus den Momenten folgen die Gurtkräfte O und U .

Die durchschnittenen Diagonale des Feldes $F_1 F_2$ hat die Spannkraft

$$D \sin \varphi = Q = \frac{M_2 - M_1}{\lambda} = \operatorname{tg} \alpha_k (Q_0 \cotg \alpha_k - H), \quad (177)$$

worin Q_0 für den einfachen Balken von der Stützweite l gilt. Die Konstruktion der **Einflußlinie für $D \sin \varphi$** ist in Abb. 145c angegeben.

Die **Einflußlinie für den linken Auflagerdruck A_u** des Versteifungsbalkens (Abb. 145d) ergibt sich aus

$$A_u = A_0 - H \operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_1 (A_0 \cotg \alpha_1 - H).$$

Im Beginne der Untersuchung fehlt das **Querschnittsverhältnis $F_c : F_k$** . Man schätzt zuerst diesen Wert (z. B. 0,5) und berechnet ν . Bedeutet g_v das vor der Versteifung an die Kette zu hängende Eigengewicht, p die bewegliche Belastung bzw. den zur Spannweite l gehörigen Belastungsgleichwert (S. 73, Tabelle 2), so liefert

$$\sigma F_k = H_{\max} = H_{gv} + H_p + H_t$$

$$\text{Gleichung (174) (173) (170)}$$

den Kettenquerschnitt F_k . Dann läßt sich H_t (Gleichung 170) und $F_c = \frac{M}{h\sigma}$ berechnen. Für M wählt man das in ungefähr $\frac{l}{4}$ auftretende M_{\max} und erhält

$$F_c = \frac{3l^2 p}{32 h \sigma} \left[\frac{1}{\nu^2} \left(\nu - \frac{4}{9} \right)^3 + (1 - \nu) \right] + \frac{3 H_t \cdot f}{4 h \sigma}.$$

Darauf folgt die Ermittlung des Verhältnisses $\frac{F_c}{F_k}$ und der Zahl ν . Bei wenig befriedigender Uebereinstimmung der beiden Werte ν führt man diese Abschätzung mit dem neuen Verhältnis $\frac{F_c}{F_k}$ nochmals durch.

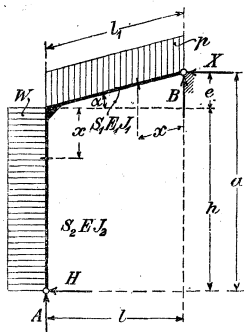
Bei Hängebrücken, die dem Eisenbahnverkehr dienen, ist die Anwendung der parabelförmigen Einflußlinien vorteilhaft (s. S. 143 bis 145).

D. Beispiele zur Anwendung der Castiglianoschen Sätze.

(Vrgl. S. 139.)

Das nach Abb. 144 gebaute **Atelierdach** ist einfach statisch unbestimmt. Belastet wird es durch Schnee und Wind mit p und w für die Längeneinheit. Für einen solchen festen Belastungszustand läßt sich die statisch unbestimmte GröÙe X leicht mit Hilfe des Prinzips der kleinsten Arbeit bestimmen. Der Winddruck auf das wenig geneigte obere Stabstück S_2 kann unberücksichtigt bleiben. Die Gleichgewichtsbedingungen lauten:

Abb. 144.



$$\begin{aligned} A + B &= pl, \\ H + X &= wh, \end{aligned}$$

$$Bl + Xa = \frac{wh^2}{2} + \frac{pl^2}{2},$$

woraus z. B. folgt

$$B = \frac{wh^2}{2l} + \frac{pl}{2} - X \frac{a}{l}.$$

Mit der in den meisten praktischen Aufgaben statthaften Vernachlässigung der Achsialkräfte wird

$$\frac{\partial A}{\partial X} = \int \frac{M}{EJ} \frac{\partial M}{\partial X} dx = 0.$$

Es ist

$$M_1 = Bx \cos \alpha + Xx \sin \alpha - \frac{px^2}{2} \cos^2 \alpha$$

$$M_2 = Bl + X(e + x) - \frac{pl^2}{2} - \frac{wx^2}{2}$$

und

$$\frac{\partial M_1}{\partial X} = -\frac{ax}{l} \cos \alpha + x \sin \alpha$$

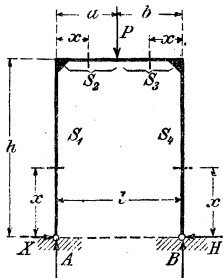
$$\frac{\partial M_2}{\partial X} = -a + e + x = x - h.$$

Die GröÙe X ist dann aus der folgenden Beziehung zu berechnen

$$\frac{1}{E_1 J_1} \int_0^l M_1 x \left(\sin \alpha - \cos \alpha \frac{a}{l} \right) dx + \frac{1}{E_2 J_2} \int_0^h M_2 (x - h) dx = 0.$$

Für ein **Krangerüst** (Abb. 145) ist die Durchbiegung δ des Angriffspunktes der Last P zu bestimmen.

Abb. 145.



Das Gleichgewicht bedingt

$$A = P \frac{b}{l}, \quad B = P \frac{a}{l}, \quad H = X.$$

Zur Berechnung von X und δ stehen zur Verfügung

$$\frac{\partial A}{\partial X} = \int \frac{M}{EJ} \frac{\partial M}{\partial X} dx + \int \frac{N}{EF} \frac{\partial N}{\partial X} dx = 0$$

und
$$\delta = \frac{\partial A}{\partial P} = \int \frac{M}{EJ} \frac{\partial M}{\partial P} dx + \int \frac{N}{EF} \frac{\partial N}{\partial P} dx.$$

Es ist für die einzelnen Stabteile

$$\begin{array}{llll} M_1 = Xx & M_2 = Xh - P \frac{b}{l} x & M_3 = Xh - P \frac{a}{l} x & M_4 = Xx \\ \frac{\partial M_1}{\partial X} = x & \frac{\partial M_2}{\partial X} = h & \frac{\partial M_3}{\partial X} = h & \frac{\partial M_4}{\partial X} = x \\ \frac{\partial M_1}{\partial P} = 0 & \frac{\partial M_2}{\partial P} = -\frac{b}{l} x & \frac{\partial M_3}{\partial P} = -\frac{a}{l} x & \frac{\partial M_4}{\partial P} = 0 \\ N_1 = -P \frac{b}{l} & N_2 = -X & N_3 = -X & N_4 = -P \frac{a}{l} \\ \frac{\partial N_1}{\partial X} = 0 & \frac{\partial N_2}{\partial X} = -1 & \frac{\partial N_3}{\partial X} = -1 & \frac{\partial N_4}{\partial P} = 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial P} = -\frac{b}{l} & \frac{\partial N_2}{\partial P} = 0 & \frac{\partial N_3}{\partial P} = 0 & \frac{\partial N_4}{\partial P} = -\frac{a}{l} \end{array}$$

Daraus folgt zur Ermittlung von X die Gleichung

$$\begin{aligned} & \frac{1}{E_1 J_1} \int_0^h X x^2 dx + \frac{1}{E_2 J_2} \int_0^a \left(X h - P \frac{b}{l} x \right) h dx \\ & + \frac{1}{E_3 J_3} \int_0^b \left(X h - P \frac{a}{l} x \right) h dx + \frac{1}{E_4 J_4} \int_0^h X \cdot x^2 dx \\ & + \frac{1}{E_2 F_2} \int_0^a X dx + \frac{1}{E_3 F_3} \int_0^b X dx = 0 \end{aligned}$$

und zur Bestimmung von δ

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{E_2 J_2} \int_0^a \left(X h - P \frac{b}{l} x \right) \left(-\frac{b}{l} x \right) dx \\ &+ \frac{1}{E_3 J_3} \int_0^b \left(X h - P \frac{a}{l} x \right) \left(-\frac{a}{l} x \right) dx \\ &+ \frac{1}{E_1 F_1} \int_0^h P \frac{b^2}{l^2} dx + \frac{1}{E_4 F_4} \int_0^h P \frac{a^2}{l^2} dx. \end{aligned}$$

Ein **gelenkloser Querrahmen** nach Abb. 146 ist dreifach statisch unbestimmt; sind die Lasten P aber gleich groß und gleich weit von der Mitte entfernt, dann herrscht infolge der Symmetrie nur zweifache statische Unbestimmtheit nach X_1 und X_2 . Man findet

Querriegel ($J_o F_o$)

$$M = X_2$$

$$\frac{\partial M}{\partial X_1} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial X_2} = 1$$

$$N = -X_1$$

$$\frac{\partial N}{\partial X_1} = -1$$

$$\frac{\partial N}{\partial X_2} = 0$$

Pfosten ($J_h F_h$)

$$M = X_2 - X_1 x$$

$$\frac{\partial M}{\partial X_1} = -x$$

$$\frac{\partial M}{\partial X_2} = 1$$

$$N = 0$$

Querträger ($J_u F_u$)

$$M = M_0 + X_2 - X_1 h$$

$$\frac{\partial M}{\partial X_1} = -h$$

$$\frac{\partial M}{\partial X_2} = 1$$

$$N = X_1$$

$$\frac{\partial N}{\partial X_1} = 1$$

$$\frac{\partial N}{\partial X_2} = 0$$

Diese Werte sind einzusetzen in

$$\frac{\partial A}{\partial X_1} = 0 = \int \frac{M}{EJ} \frac{\partial M}{\partial X_1} dx + \int \frac{N}{EF} \frac{\partial N}{\partial X_1} dx \quad \text{bzw.} \quad \frac{\partial A}{\partial X_2} = 0,$$

Abb. 146.

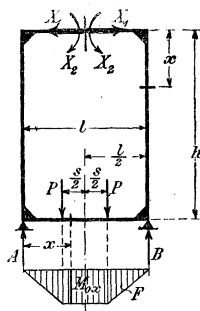
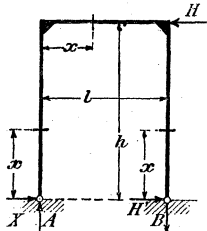


Abb. 147.



erhalten. M_0 ist das Biegemoment eines einfachen Balkens von der Stützweite l infolge der Lasten P ; das Integral

$\int_0^l M_0 dx = \bar{\gamma}$ = dem Inhalt der M_0 -Fläche.

Abb. 147 zeigt einen **Endquerrahmen ohne Endquerträger** zur Aufnahme der Reaktion H des Windverbandes. Der Rahmen ist unten auf Kugellager gestellt. Damit Gleichgewicht herrscht, muß sein

$$H' = H - X,$$

$$A = B = \frac{H \cdot h}{l}.$$

Die statisch unbestimmte Größe X ergibt sich aus der Gleichung

$$\frac{\partial A}{\partial X} = 0 = \int \frac{M}{EJ} \frac{\partial M}{\partial X} dx + \int \frac{N}{EF} \frac{\partial N}{\partial X} dx.$$

Die Querschnitte müssen bei solchen Aufgaben geschätzt werden. Von Vorteil ist es, bei der Ausrechnung nach Möglichkeit **Querschnittsverhältnisse** einzuführen. Wie man die Momente und Achsialkräfte positiv und negativ wählt, ist gleichgültig, denn der Ausdruck für die Formänderungsarbeit A enthält die Quadrate.

VI. RÄUMLICHES FACHWERK.*)

A. Zerlegung einer Kraft nach 3 Richtungen im Raum.

a) Die allgemeinste Methode besteht in der Anwendung der auf ein rechtwinkliges räumliches Koordinatensystem bezogenen Gleichgewichtsbedingungen (Abb. 148).

$$\left. \begin{aligned} \sum x a + A &= 0 \\ \sum x b + B &= 0 \\ \sum x c + C &= 0 \end{aligned} \right\} (178)$$

worin $x = \frac{S}{s}$, die Strecken a ,

b , c gleich den 3 Projektionen der Stablänge s und A , B , C gleich den Projektionen der in m angreifenden gegebenen Lasten sind. Die Summen erstrecken sich über die 3 unbekannten Stabkräfte des Knotenpunktes m . Die Auflösung der Gleichung 178 erfolgt mit Hilfe der Determinanten. Das Verfahren läßt durch geschickte Wahl des Koordinatensystems Vereinfachungen zu.

b) **Momentenmethode.** Man betrachtet den Grundriß und den dazu rechtwinklig stehenden Aufriss der in m angreifenden Kräfte (Abb. 149) und zerlegt diese in ihren Spurpunkten 1, 2, 3, 4 wagerecht und lotrecht. Darauf setzt man für eine durch die Spurpunkte zweier Stäbe gehende Achse $\sum M = 0$ und erhält (ähnlich wie bei der Ritterschen Momentengleichung in der Ebene) eine Gleichung mit nur einer unbekannten Stabkraft. Es bedeuten S' und S'' bzw. s' und s'' die Stabkräfte S bzw. die Stablängen s in Grund- und Aufriss. Dann ist

$$\frac{S}{s} = \frac{S'}{s'} = \frac{S''}{s''}.$$

l_1, l_2, l_3 und p sind die Längen m_1, m_2, m_3 und m_4 .

*) S. Müller-Breslau, Die neueren Methoden der Festigkeitslehre und der Statik der Baukonstruktionen. Kröner. 3. Aufl., IV. Abschn. — Schlink, Statik der Raumfachwerke. Teubner, 1907.

Abb. 148.

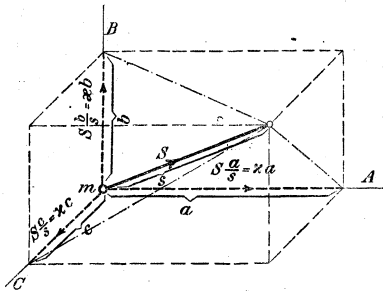
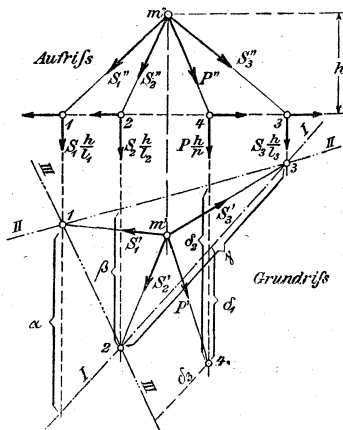


Abb. 149.



Achse I gehe z. B. (Abb. 149) durch 2 und 3; δ_1 und α sind parallel, aber von beliebiger Richtung. Man erhält

$$\Sigma M_I = 0 = S_1 \frac{h}{l_1} \alpha - P \frac{h}{p} \delta_1$$

und

$$\frac{S_1}{l_1} = + \frac{P}{p} \frac{\delta_1}{\alpha}.$$

Für die Drehachsen II durch 1 und 3 und III durch 1 und 2 ist

$$\frac{S_2}{l_2} = - \frac{P}{p} \frac{\delta_2}{\beta}$$

und

$$\frac{S_3}{l_3} = - \frac{P}{p} \frac{\delta_3}{\gamma}.$$

} (179)

Wenn die Strecken l_1, l_2, l_3 den Stablängen s_1, s_2, s_3 gleich sind, was meist der Fall ist, wird

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= + \frac{P}{p} \frac{\delta_1}{\alpha} \\ x_2 &= - \frac{P}{p} \frac{\delta_2}{\beta} \\ x_3 &= - \frac{P}{p} \frac{\delta_3}{\gamma} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (179a)$$

Die Summe aller lotrechten Seitenkräfte in m gibt für $l=s$ die Kontrolle

$$x_1 + x_2 + x_3 + \frac{P}{p} = 0.$$

Sonderfälle ($l=s$).

1. **P parallel zur Grundrifsebene.** P wird parallel und lotrecht zur Drehachse zerlegt. Dann ist z. B.

$$x_1 = \pm \frac{P}{p_1},$$

worin unter p_1 die zu P parallele Strecke zwischen 1 und Drehachse I zu verstehen ist. Ebenso ergeben sich x_2 und x_3 . Das Vorzeichen ist abhängig vom Sinne der Kraft P .

2. **P parallel zur Grundrifsebene und zur Drehachse I.** $S_1=0$. S_2 und S_3 folgen aus der Zerlegung von P nach S_2 und S_3 ; daher wird

$$x_2 = -x_3 = \pm \frac{P}{p}.$$

p ist die Strecke 2—3 im Grundrifs.

3. **S_1 parallel zur Grundrifsebene** (Abb. 150)

$$S_1 = - \frac{P}{p} \delta_1$$

$$x_2 = -\frac{P}{p} \frac{\delta_2}{\beta}$$

$$x_3 = -\frac{P}{p} \frac{\delta_3}{\gamma}$$

$$p = m \cdot 4; \quad \gamma = \beta.$$

$$\text{Probe: } x_2 + x_3 + \frac{P}{q} = 0.$$

Die Richtungen S_1 , II und III sind parallel, ebenso I und δ_2 bzw. δ_3 .

Abb. 150.

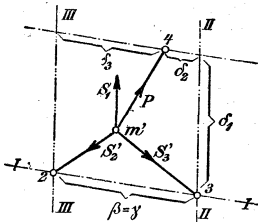
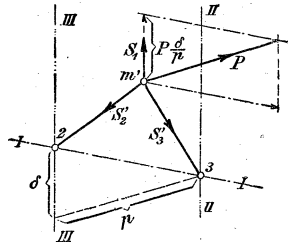


Abb. 151.



4. S_1 und P parallel zur Grundrissenebene (Abb. 151). P wird nach den Richtungen I und S_1 zerlegt.

$$S_1 = -\frac{P}{p} \delta; \quad x_2 = \frac{P}{p} = -x_3$$

$$p \parallel P; \quad S_1 \parallel II \parallel III.$$

5. Zwei Stäbe S_1 und S_2 parallel zur Grundrissenebene. Drehachse I wird parallel zu S_2 , II parallel zu S_1 gewählt.

$$S_1 = \frac{P}{p} \delta_1, \quad (\delta_1 \parallel S_1),$$

$$S_2 = \frac{P}{p} \delta_2, \quad (\delta_2 \parallel S_2),$$

$$x_3 = \frac{P}{p}.$$

Die Vorzeichen sind abhängig von dem der Kraft P .

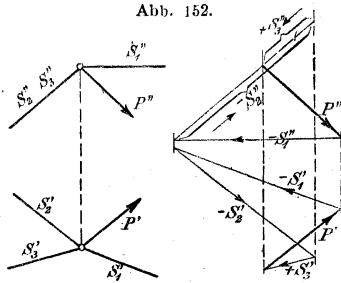
c) Die Verfahren nach a) und b) lassen sich vorteilhaft verbinden.

Ist z. B. S_1 aus einer Momentengleichung berechnet, so können S_2 und S_3 aus 2 Gleichgewichtsbedingungen mit je einer Unbekannten gefunden werden, wenn das Achsenkreuz entsprechend gelegt wird.

d) Zur graphischen Ermittlung der Stabkräfte werden die Projektionsebenen so gewählt, dass von den 3 unbekannten Kräften sich

2 in einer Ebene decken. In Abb. 152 sind für Aufriss und Grundriss die Kräftepläne gezeichnet.

Abb. 152.



Es ist

$$S_1 = S_1' \frac{s_1}{s_1'} = S_1'' \frac{s_1}{s_1''},$$

$$S_2 = S_2' \frac{s_2}{s_2'} = S_2'' \frac{s_2}{s_2''},$$

$$S_3 = S_3' \frac{s_3}{s_3'} = S_3'' \frac{s_3}{s_3''}.$$

Solche Formeln aus nur skizzierten Kräfteplänen abzuleiten, führt häufig rasch zum Ziele (s. die genannte Quelle).

B. Kuppeldächer.

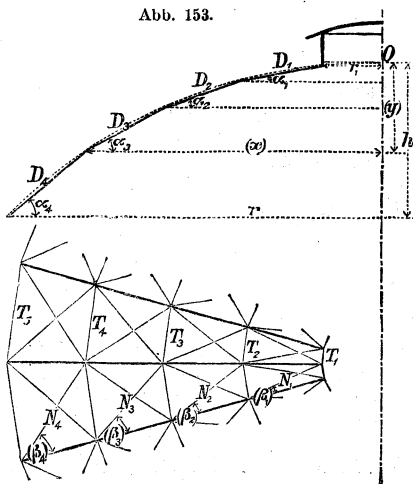
Berechnung für lotrechte Lasten. *)

Die gegliederte Kuppel besteht aus Stäben, die nach Richtung der Meridiane (als Sparren) und winkelrecht dazu nach Richtung der Parallelkreise (als Ringe) angeordnet werden.

Um Sparren und Ringe (die als Vielecke auszuführen sind) gegen Verschiebung durch einseitige Belastung zu schützen, sind Schrägen anzuordnen (die am besten steif konstruiert werden, so daß Gegen-schrägen fortfallen).

Die Sparren sind am stärksten gedrückt, wenn die ganze Kuppelfläche voll belastet ist.

Abb. 153.



Ein Ring ist am stärksten gezogen, wenn der innerhalb des Ringes befindliche Kuppelteil voll belastet ist, der Ring selbst mit seiner Zone dagegen unbelastet bleibt; er ist am stärksten gedrückt bei der umgekehrten Belastung.

Für die Bestimmung der größten Spannkraften

*) Nach J. W. Schwedler, Die Konstruktion der Kuppeldächer. 2. Auflage; Berlin, Wih. Ernst & Sohn. — Berechnung für schräge Lasten (Winddruck) nach Müller-Breslau Z. d. B. 1891 u. 1892 sowie Z. d. V. d. I. 1898 Bd. 42. — Dimensionierte flache Kuppeldächer bis 60 m Durchmesser s. Scharowsky, Musterbuch für Eisenkonstruktionen, 4. Auflage, neu bearbeitet von Kohnke; Otto Spamer, 1908.

der **Schrägen** zwischen zwei Sparren hat Schwedler angenommen, daß die auf einer Seite des durch die Mitte der Schrägen gehenden Durchmessers liegende Halbkuppelfläche voll belastet, die andere dagegen nicht eingedeckt ist. Die tatsächlich auftretenden, nachstehend angegebenen größten Spannkkräfte N der Schrägen sind nur halb so groß wie die von Schwedler berechneten.

Für die Kuppel in Abb. 153 bezeichne

- n die Anzahl der Sparren,
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ die Neigungswinkel der Sparrenglieder,
 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ die Neigungswinkel zwischen Schrägen und Sparren, gemessen in den Ebenen der Kuppelfelder,
 P_1, P_2, P_3, P_4 die Eigengewichte der Kuppelzonen, durch welche die Knotenpunkte belastet werden (P_1 einschl. Belastung durch die Laterne),
 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 die Gewichte der Zonen bei voller Belastung (einschl. Eigengewicht),
 D_1, D_2, D_3, D_4 die Spannkkräfte der Sparrenglieder,
 T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 die Spannkkräfte der Ringe,
 N_1, N_2, N_3, N_4 die Spannkkräfte der Schrägen.

Dann ist

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= -\frac{Q_1}{n \sin \alpha_1}; & D_3 &= -\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{n \sin \alpha_3} \\ D_2 &= -\frac{Q_1 + Q_2}{n \sin \alpha_2}; & D_4 &= -\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{n \sin \alpha_4} \end{aligned} \right\} \quad (180)$$

$$T_1 = -\frac{Q_1 \operatorname{ctg} \alpha_1}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} = -\frac{D_1 \cos \alpha_1}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \quad (\text{Laternenring}) \quad (181)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \max T_2 &= \frac{Q_1 \operatorname{ctg} \alpha_1 - (Q_1 + P_2) \operatorname{ctg} \alpha_2}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} \\ \min T_2 &= \frac{P_1 \operatorname{ctg} \alpha_1 - (P_1 + Q_2) \operatorname{ctg} \alpha_2}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} \\ \max T_3 &= \frac{(Q_1 + Q_2) \operatorname{ctg} \alpha_2 - (Q_1 + Q_2 + P_3) \operatorname{ctg} \alpha_3}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} \\ \min T_3 &= \frac{(P_1 + P_2) \operatorname{ctg} \alpha_2 - (P_1 + P_2 + Q_3) \operatorname{ctg} \alpha_3}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} \\ \max T_4 &= \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3) \operatorname{ctg} \alpha_3 - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + P_4) \operatorname{ctg} \alpha_4}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} \\ \min T_4 &= \frac{(P_1 + P_2 + P_3) \operatorname{ctg} \alpha_3 - (P_1 + P_2 + P_3 + Q_4) \operatorname{ctg} \alpha_4}{2 n \sin \frac{\pi}{n}} \end{aligned} \right\} \quad (182)$$

$$T_5 = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \operatorname{ctg} \alpha_4}{2n \sin \frac{\pi}{n}} = \frac{D_4 \cos \alpha_4}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \quad (\text{Mauerring}) \quad (183)$$

Angenähert ist ferner

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= \frac{Q_1 - P_1}{2n \sin \alpha_1 \cos \beta_1}; & N_2 &= \frac{Q_1 + Q_2 - (P_1 + P_2)}{2n \sin \alpha_2 \cos \beta_2} \\ N_3 &= \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 - (P_1 + P_2 + P_3)}{2n \sin \alpha_3 \cos \beta_3} \\ N_4 &= \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)}{2n \sin \alpha_4 \cos \beta_4} \end{aligned} \right\} \quad (184)$$

Sollen die **Sparren einen unveränderlichen Normaldruck** haben, so dafs

$$D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = D$$

ist, so sind die Neigungswinkel

$$\begin{aligned} \sin \alpha_1 &= \frac{Q_1}{nD}; & \sin \alpha_3 &= \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{nD}; \\ \sin \alpha_2 &= \frac{Q_1 + Q_2}{nD}; & \sin \alpha_4 &= \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{nD}. \end{aligned}$$

Sollen die **Ringe die mittlere Spannung null** haben, so mufs sein:
 $\max T + \min T = 0;$

daraus ergeben sich die Neigungswinkel

$$\operatorname{ctg} \alpha_2 = \operatorname{ctg} \alpha_1 \frac{P_1 + Q_1}{P_1 + Q_1 + P_2 + Q_2} \text{ usw.}$$

In beiden Fällen berechnet sich jeder folgende Neigungswinkel aus dem vorhergehenden. Nach Annahme eines Neigungswinkels läfst sich die Form der Kuppel bestimmen.

Die Sparren sind auch auf Biegung zu untersuchen.

Es empfiehlt sich, nach den oben angegebenen Formeln zu rechnen. Die Erfahrung hat ihre Brauchbarkeit erwiesen. Man achte aber darauf, dafs sie eine sehr gut hergestellte Schalung voraussetzen, weil diese wesentlich zur Versteifung der Kuppel beiträgt.

Anmerkung. Bei den Kuppeldächern über den Berliner Gasbehältergebäuden von 32 m bis 44 m Spannweite sind in Rechnung gestellt

das Eigengewicht mit 70 kg/qm und die zufällige Last mit 100 kg/qm.

Diese Kuppeln bestehen aus vier und fünf Ringen und 24 radialen Sparren; die Ringe sind Vierundzwanzigecke; die Dachfläche ist aus Pfetten, Schalung und Pappe gebildet.

Die Pfeilhöhe h beträgt $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{6}$ der Spannweite $2r$ (s. Abb. 153).

Der Querschnitt ist eine kubische Parabel von der Gleichung: $y = (x^3 : r^3) h$ für den im Scheitel O liegenden Anfangspunkt der Koordinaten. Der mittlere Teil der Kuppel ist als gemeine Parabel konstruiert, die mit der kubischen Parabel im Uebergangspunkte dieselbe Tangente hat.

Neuere Ausführungen in Schmargendorf bei Berlin zeigen bis 60 m Spannweite unter Benutzung von 36 radialen Sparren. In Mariendorf bei Berlin befindet sich ein Gasbehälter-Kuppeldach von 64,5 m Spannweite.

Die Kuppel des Berliner Domes hat eine Höhe von Unterkante Fußsring bis Oberkante Schlußsring von rd. 23,0 m (bis zur Kreuzspitze rd. 60,0 m) und einen Durchmesser von 35,65 m. Gewicht der Eisenkonstruktion ohne Laterne: 90,5 kg/qm Grundfläche.

Ueber Winddruck auf Kuppeln s. Z. d. B. 22. Juni 1898 Th. Landsberg.

C. Führungsgerüste der Gasbehälter. *)

Bei Anwendung von Tangential-Führungsrollen (Abb. 154), die leichte Gerüstkonstruktionen liefern, gestaltet sich die Berechnung folgendermaßen.

Abb. 154.

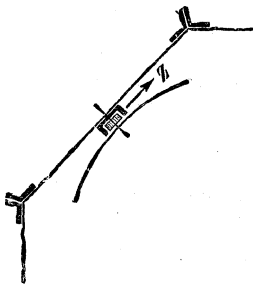
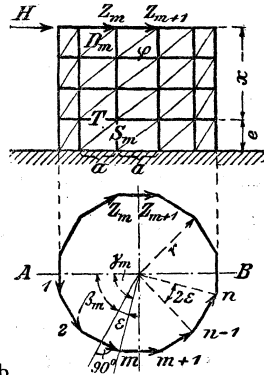


Abb. 155.



Bedeutet (vgl. Abb. 155)

H den gesamten, auf den obersten Ring wirkenden Winddruck,

Z_m die Spannkraft im m ten Ringstab des obersten Ringes,

β_m den Winkel zwischen der Symmetrieachse AB und der Lotrechten auf Z_m ,

$2n$ die Anzahl der Gerüststiele,

φ den Neigungswinkel der Schrägen gegen die Ringstäbe,

so ist, wenn man annimmt, daß H auf das Fachwerk durch eine starre Scheibe (die Glockendecke) übertragen wird,

$$Z_m = C \sin \beta_m \dots \dots \dots (185)$$

worin C einen festen Wert darstellt, der bestimmt ist durch

$$C = \frac{H}{\sum \sin^2 \beta_m}.$$

Ferner ist $\sum \sin^2 \beta_m = n$, folglich

$$Z_m = \frac{H}{n} \sin \beta_m \dots \dots \dots (186)$$

Die Ringstäbe (T) und Schrägen (D) werden am stärksten beansprucht in den der Windrichtung parallelen Wänden, u. zw. ist

$$\min T_m = -\frac{H}{n} \dots \dots \dots (187)$$

$$\max D_m = \frac{H}{n} \sec \varphi_m \dots \dots \dots (188)$$

*) Vgl. Z. d. V. d. I. 1898. Müller-Breslau, Beitrag zur Theorie der Kuppel- und Turmdächer und verwandter Konstruktionen.

Die Spannkraft S_m in einem Stielglied infolge Z_m und Z_{m+1} wird mit den in Abb. 155 eingeschriebenen Bezeichnungen

$$S_m = \frac{1}{a} [Z_{m+1} \cdot x - Z_m (x + e)]$$

und nach einigen Umformungen

$$S_m = \frac{H}{nr} \left[\left(x + \frac{e}{2} \right) \cos \gamma_m - \frac{e}{2} \operatorname{ctg} \varepsilon \sin \gamma_m \right].$$

Dieser Ausdruck erreicht einen Größtwert für

$$-\left(x + \frac{e}{2} \right) \sin \gamma_m - \frac{e}{2} \operatorname{ctg} \varepsilon \cos \gamma_m = 0,$$

d. h. für

$$\operatorname{tg} \gamma_m = -\frac{e}{2x + e} \operatorname{ctg} \varepsilon,$$

und man erhält daher den größten Stieldruck zu

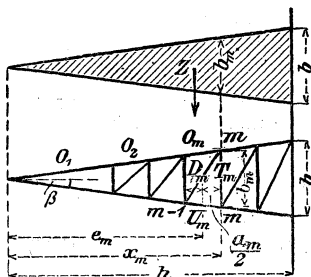
$$-S_m = \frac{H}{nr} \left(x + \frac{e}{2} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{e}{2x + e} \right)^2 \operatorname{ctg}^2 \varepsilon} \quad (189)$$

D. Turmspitzen.*)

1. Spannkraften aus Eigengewicht und Winddruck.

α . Das Eigengewicht γ_1 der Eisenkonstruktion werde gleichmäßig über die Dachfläche verteilt angenommen. Es betrage

Abb. 156.



$\gamma_1 = 45 \text{ kg/qm}$ bei schwach versteiften Ringen und leichten Leitergängen,

$\gamma_1 = 60 \text{ kg/qm}$ bei Ausbildung der Ringe zu tragfähigen Decken und Anlage fester Treppen.

Das Eigengewicht der Dachdeckung ist

$\gamma_2 = 40 \text{ kg/qm}$ bei Kupfer auf Schalung,

$\gamma_2 = 80 \text{ kg/qm}$ bei Schiefer auf Schalung.

Ist ferner h die schräge Höhe und b die untere Breite eines Turmfeldes (Abb. 156), so beträgt das Gewicht

G_m eines Turmstückes von der schrägen Höhe x_m bei achteckiger Grundrissanordnung (Abb. 157)

$$G_m = 4 (\gamma_1 + \gamma_2) \frac{b}{h} x_m^2.$$

*) Müller-Breslau, Die Berechnung achteckiger Turmpyramiden, Z. d. V. d. I. 1899, Bd. 43.

Das Gewicht erzeugt im untersten Querschnitt des m^{ten} Feldes eine Sparrenkraft von

$$\text{rd. } S_m = -1/8 G_m \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (190)$$

β. Der Winddruck werde wagerecht angenommen und sei für die Fläche I (Abb. 157): w und für die Flächen II: $w' = w \sin^2 45^\circ = \frac{w}{2}$ kg.

Für die Berechnung einer Fachwerkpyramide ist es zulässig, die einzelnen Felder als Freiträger mit Dreieckbelastung anzunehmen. Abb. 157.

Bezeichnet man hierbei das Gewicht der Einheit der Belastungsfläche mit z , so ergibt sich mit den aus Abb. 156 ersichtlichen Bezeichnungen:

die Gesamtbelastung

$$Z = \frac{1}{2} z b h$$

und die Spannkraft in den Stäben

$$\left. \begin{aligned} O_m &= +1/6 \, z x_m^2 - 1 \\ U_m &= -1/6 \, z x_m^2 \\ D_m &= +1/3 \, z e_m d_m \end{aligned} \right\} \quad \cdot \cdot \quad (191)$$

wobei die Belastung am Ober- oder Untergurt angreifen kann.

Die Spannkraft in den Ringen ergibt sich bei oben angreifender Belastung zu

$$T_m = -1/3 z e_m + 1 b_{m+1} \quad . \quad 192)$$

und bei unten angreifender Belastung zu

$$T_m = -1/3 z e_m b_m - 1. \quad (193)$$

Wirken oben und unten Lasten Z auf den Träger, so ist

$$T_m = -1/3 (z_0 e_m + 1 b_{m+1} - z_u e_m b_{m-1}) \quad . \quad . \quad . \quad (194)$$

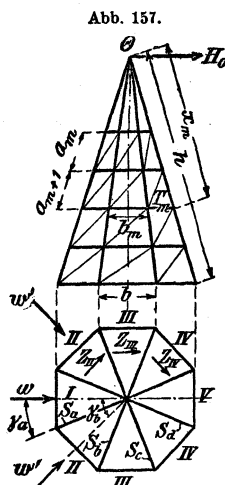


Abb. 157.

2. Turmspitzen mit starren Ringen.

(Vrgl. Abb. 157.)

Es wird vorausgesetzt, daß die Ringe ebene Scheiben von so großer Steifigkeit sind, daß deren Formänderungsarbeit vernachlässigt werden kann (z. B. feste Decken).

Bezeichnet man die Belastung der Fläche III infolge Winddruckes mit z , so ist die Belastung der Flächen II und IV

$$z' = z \sin 45^\circ \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (195)$$

und da

$$z + 2z' \sin 45^\circ = \frac{w}{\eta} + w' \sin 45^\circ, \text{ so ergibt sich}$$

$$\left. \begin{aligned} z &= 0,4268 w \\ z' &= 0,3018 w \end{aligned} \right\} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (196)$$

Die Schrägen erleiden die stärkste Beanspruchung in Seitenwand III, und es ist nach Gleichung 191

$$D_m = 0,142 w e_m d_m \quad . \quad . \quad . \quad (197)$$

Die größten Sparrenkräfte sind (s. Abb. 156 u. 157)

$$\left. \begin{aligned} S_{\max} &= +0,05 w x_m^2 - 1 \\ S_{\min} &= -0,05 w x_m^2 \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad (198)$$

Hierzu tritt noch der unter α gefundene Einfluss des Eigengewichtes sowie der des Winddruckes auf den etwa vorhandenen Turmknopf (vgl. die in der Fußnote S. 192 angeführte Quelle).

Ein ähnliches Ergebnis für die Sparrenkräfte S_m erhält man, wenn man die ganze Turmpyramide als einheitlichen, eingespannten Freitragträger betrachtet. *) Diese Voraussetzung liefert für einen Sparrenstab in der Entfernung x_m von der Spitze

$$S_m = \pm 0,05 w x_m^2 \quad . \quad . \quad . \quad (199)$$

3. Turmspitzen mit unversteiften Ringen.

Können die Ringe nicht als starre ebene Scheiben angesehen werden, so wähle man folgende Berechnungsweise:

Für die Berechnung der D_{\max} und T_{\max} denke man in Abb. 157 die drei Felder IV, V und IV entfernt, dann ist die Belastung Z_0 bzw. Z_u der übrigen fünf Felder

$$\text{für I:} \quad Z_0 = \frac{1}{2} w + \frac{1}{2} w' \sqrt{2} = Z_u \quad . \quad . \quad . \quad (200)$$

$$\begin{aligned} \text{„ II:} \quad Z_0 &= \frac{1}{2} w \sqrt{2} + \frac{1}{2} w' \\ Z_u &= \frac{1}{2} w', \text{ folglich} \\ Z_{II} &= Z_0 - Z_u = \frac{1}{2} w \sqrt{2} \quad . \quad . \quad . \quad (201) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{„ III:} \quad Z_0 &= \frac{1}{2} w' \sqrt{2} \\ Z_u &= 0, \text{ folglich} \\ Z_{III} &= \frac{1}{2} w' \sqrt{2} = \frac{1}{4} w \sqrt{2} \quad . \quad . \quad . \quad (202) \end{aligned}$$

Nach Gleichung 191 wird daher

$$\begin{aligned} D_m &= \frac{1}{8} w e_m d_m \sqrt{2} \\ D_m &= \sim 0,232 w e_m d_m \quad . \quad . \quad . \quad (203) \end{aligned}$$

und nach Gleichung 194

$$\begin{aligned} T_m &= -\frac{1}{3} w \left[\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} + \frac{1}{4} \right) e_m + 1 b_m + 1 - \frac{1}{4} e_m b_m - 1 \right] \\ T_m &= \sim -0,08 w (4 e_m + 1 b_m + 1 - e_m b_m - 1) \quad . \quad . \quad . \quad (204) \end{aligned}$$

Die Spannkkräfte in den Sparren S_a , S_b , S_c und S_d ergeben sich aus den Formeln 191, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daß sich infolge Hinzutretens der drei Felder IV, V und IV die Spannkkräfte um gewisse Werte X_a , X_b , X_c und X_d ändern.

*) Vgl. Breymann, Baukonstruktionslehre 3. Bd., bearbeitet von Königer.

Es wird daher in den Sparren

$$S_a: \quad S_m = + \frac{w\sqrt{2}}{12} x_m^2 - 1 \quad + X_a$$

$$S_b: \quad S_m = - \frac{w\sqrt{2}}{12} (x_m^2 - 1/2 x_m^2 - 1) + X_b$$

$$S_c: \quad S_m = - \frac{w\sqrt{2}}{12} \frac{x_m^2}{2} \quad + X_c$$

$$S_d: \quad S_m = \quad \quad \quad + X_d$$

Hieraus ergibt sich, wenn man mit F_o und F_u die Querschnitte im obersten bzw. untersten Sparrenfeld, d. i. für $x=0$ und $x=h$, bezeichnet, für

$$\left. \begin{aligned} S_a: \quad S_m &= + \frac{w\sqrt{2}}{12} x_m^2 - 1 && - 0,0676 w h^2 \mu \\ S_b: \quad S_m &= - \frac{w\sqrt{2}}{12} (x_m^2 - 1/2 x_m^2 - 1) && + 0,0897 w h^2 \mu \\ S_c: \quad S_m &= - \frac{w\sqrt{2}}{12} 1/2 x_m^2 && + 0,0381 w h^2 \mu \\ S_d: \quad S_m &= && - 0,0503 w h^2 \mu \end{aligned} \right\} \quad (205)$$

worin

$$\mu = \left(\frac{F_o}{F_u - F_o} \right)^2 + \frac{0,5 - \frac{F_o}{F_u - F_o}}{\ln \frac{F_u}{F_o}} \text{ ist} \quad \dots \quad (206)$$

Im allgemeinen kann man annehmen, daß μ zwischen $1/4$ und $1/5$ liegt; $\mu = 1/4$ ergibt sich für $F_u = 3 F_o$.

Hiernach erhält man z. B. für $x_{m-1} = h$; $x_m = h$ und $\mu = 1/4$

$$\max S = 0,10 w h^2 \quad \dots \quad (207)$$

$$\min S = -0,05 w h^2 \quad \dots \quad (208)$$

wovon Gleichung 207 den größten Zug im Anker und Gleichung 208 den größten Sparrendruck bezeichnet.

Da die der vorstehenden Berechnung zugrunde gelegte Annahme völlig gelenkiger Ringe bei fester Vernietung niemals zutrifft, anderseits aber die Spannkkräfte S_m in den oberen Turmfeldern bei starren Ringen wesentlich kleiner sind als bei versteiften Ringen, so empfiehlt Müller-Breslau, durchweg die günstige Wirkung der statischen Unbestimmtheit zu vernachlässigen, also

$$\max S_m = + \frac{w\sqrt{2}}{12} x_m^2 - 1 = + 0,118 w x_m^2 - 1 \quad \text{und} \quad (209)$$

$$\min S_m = - \frac{w\sqrt{2}}{24} x_m^2 = - 0,059 w x_m^2 \quad \text{bei } x_m > 0,46 h \quad (210)$$

dagegen

$$\min S_m = - 0,126 w h^2 \quad \text{bei } x_m < 0,46 h \quad \dots \quad (211)$$

zu setzen; dafür aber höhere Beanspruchungen ($\sigma = 1600 \text{ kg/qcm}$) bei $w = 200 \text{ kg/qm}$ zuzulassen.

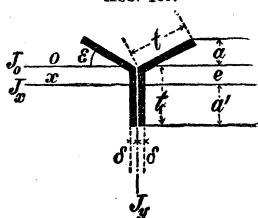
In konstruktiver Hinsicht ist es zweckmäßig, die Sparren bis zum obersten Ring aus je zwei Winkleisen von nach der Spitze hin abnehmender Stärke zu bilden, zur Herstellung der Spitze selbst aber nur eines dieser Winkleisen durchgehen zu lassen und am oberen Ende an einen kegelförmigen Blechmantel anzuschließen.

Als Querschnittformen für die Sparren (Gratstäbe) eignen sich gut die in Abb. 158 bis 161 dargestellten. Die zu Abb. 158 bis 161 erforderlichen Winkleisen walzt L. Mannstädt & Co. in Kalk bei Köln a. Rh. mit einem Winkel von $101\frac{1}{2}^\circ$, $112\frac{1}{2}^\circ$, 117° , 120° , 128° , 135° und 150° und Abmessungen bis zu $130 \cdot 130 \cdot 20 \text{ mm}$.

Abb. 158.



Abb. 159.



Für den Querschnitt Abb. 158 werden zweckmäßig Winkel mit einem Schenkelverhältnis von 1:1,5 gewählt, die durch die umgebogenen Knotenbleche mit den Ringen verbunden sind.

Die in Abb. 159 bis 161 dargestellten Profile werden vorteilhaft mittels nachstehender Formeln berechnet (Bezeichnungen siehe Abb. 159).

Es bezeichnen a und a' die Abstände der äußersten Fasern von der x -Achse; t die äußere Schenkellänge, t_1 die mittlere Schenkellänge.

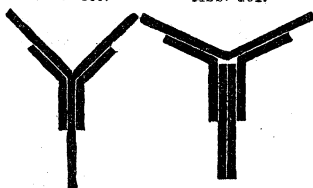
$$e = \frac{t_1}{4} (1 - \sin \varepsilon) \quad (212)$$

$$t_1 = t - \frac{1}{2} \delta \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varepsilon}{2} \right) \quad (213)$$

$$J_x = t_1^3 \delta \left[\frac{5}{24} (3 - \cos 2\varepsilon) + \frac{1}{2} \sin \varepsilon + \frac{1}{6} \frac{\delta^2}{t_1^2} \cos^2 \varepsilon \right] \quad (214)$$

Abb. 160.

Abb. 161.



$$J_y = \frac{2}{3} t^3 \delta \cos^2 \varepsilon \quad (215)$$

$$a = e + t_1 \sin \varepsilon + \frac{1}{2} \delta \cos \varepsilon \quad (216)$$

$$a' = t (1 + \sin \varepsilon) - a \quad (217)$$

$$W_x = \frac{J_x}{a} \quad (218)$$

$$W_x' = \frac{J_x}{a'} \quad (219)$$

Bei $\varepsilon = 22\frac{1}{2}^\circ$ erhält man hiernach für

$t = 6\delta$	7δ	8δ	9δ	10δ
$J_x = 0,5672 t^3 \delta$	$0,5806 t^3 \delta$	$0,5909 t^3 \delta$	$0,5962 t^3 \delta$	$0,6056 t^3 \delta$

$\alpha = 0,584 t$	$0,578 t$	$0,572 t$	$0,569 t$	$0,565 t$
$\alpha' = 0,799 t$	$0,805 t$	$0,811 t$	$0,814 t$	$0,818 t$
$W_x = 0,97 t^2 \delta$	$1,00 t^2 \delta$	$1,03 t^2 \delta$	$1,05 t^2 \delta$	$1,07 t^2 \delta$
$W_x' = 0,71 t^2 \delta$	$0,72 t^2 \delta$	$0,73 t^2 \delta$	$0,73 t^2 \delta$	$0,74 t^2 \delta$

Abgerundet darf man setzen

$$\left. \begin{aligned} J_{\min} &= 0,57 t^3 \delta \text{ (vgl. 214),} & W_x &= t^2 \delta \text{ (vgl. 218),} \\ W_x' &= 0,7 t^2 \delta \text{ (vgl. 219).} \end{aligned} \right\} \quad (220)$$

VII. NÄHERUNGSFORMELN FÜR EINIGE HOLZKONSTRUKTIONEN.

Im nachfolgenden sind nur die durch die Belastungen hervorgerufenen **achsialen** Spannkkräfte der Trägereile aufgeführt. Die genaue Berechnung der Spannkkräfte mufs mit Berücksichtigung der elastischen Formänderung der Träger erfolgen.*) Bei grofsen Kräften sind die Verbindungen an den Knotenpunkten besonders sorgfältig zu konstruieren und zu berechnen.

1. Hänge- und Sprengwerke.

a) **Einfaches Hängewerk** (Abb. 162). Der Hauptbalken AB werde gleichmäfsig mit Q belastet; C ist die Mitte von AB . Es ist dann unter der Voraussetzung, dafs der Balken bei A und B nicht eingespannt ist,

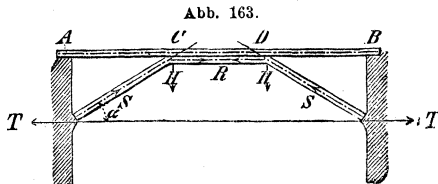
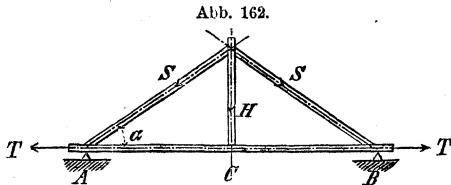
$$H = + \frac{5}{8} Q;$$

$$S = - \frac{5}{16} \frac{Q}{\sin \alpha};$$

$$T = + \frac{5}{16} \frac{Q}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Wird die Hängesäule H durch die Einzellast P belastet, und fällt Q , die gleichmäfsige Belastung von AB , fort, so ist in den vorstehenden drei Formeln P statt $\frac{5}{8} Q$ zu setzen.

b) **Einfaches Sprengwerk**. Fallen in Abb. 163 die Strebenköpfe (Punkte C und D) in der Mitte von AB zusammen, ist also die Länge des Spannriegels R gleich null, so entsteht das einfache Sprengwerk; für dieses gelten die nämlichen Formeln wie für das einfache Hängewerk.



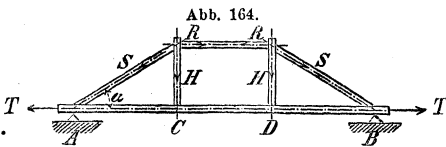
*) Müller-Breslau, Graphische Statik der Baukonstruktionen. II. Band, 2. Abteilung, § 22. — S. Müller, Beiträge zur Theorie hölzerner Tragwerke des Hochbanes. Z. f. B. 1906.

c) **Doppeltes Hängewerk** (Abb. 164). Unter der Voraussetzung, daß die Last Q über AB gleichmäßig verteilt und $AC = CD = DB$ ist, sind die Spannkkräfte

$$H = + \frac{11}{30} Q;$$

$$S = - \frac{11}{30} \frac{Q}{\sin \alpha};$$

$$R = - T = - \frac{11}{30} \frac{Q}{\operatorname{tg} \alpha}.$$



Werden die Hängesäulen H durch je eine Einzellast $\frac{1}{2} P$ belastet, und fällt Q , die gleichmäßige Belastung von AB , fort, so ist in den vorstehenden drei Formeln $\frac{1}{2} P$ statt $\frac{11}{30} Q$ zu setzen.

Wird der Hauptbalken ungleichmäßig belastet, so ist in Abb. 164 das mittlere Rechteck durch zwei gekreuzte **Schrägen** CR und DR auszusteiern. Die Spannkkräfte sind alsdann nach S. 87 u. f. zu bestimmen.

d) **Doppeltes Sprengwerk** (Abb. 163). Hierfür gelten dieselben Formeln wie für das doppelte Hängewerk.

2. Fettendach.

Der Hauptbalken AB des Hängewerkes (Abb. 165) ist mit Q gleichmäßig belastet; außerdem beanspruchen die in den Punkten C_1 und D_1 auf dem Hängewerke gelagerten, durch n Sparren belasteten Fetten den Binder noch durch je eine Last P winkelrecht zur Dachfläche.

Es entstehen die Spannkkräfte

$$H = + \frac{11}{30} Q;$$

$$S = - \frac{1}{\sin \alpha} \left(\frac{11}{30} Q + P \cos \alpha \right); \quad R = - T = - \frac{1}{\sin \alpha} \left(\frac{11}{30} Q \cos \alpha + P \right).$$

Die Sparren sind als durchlaufende Träger von den Feldlängen l_1 und l_2 und der gleichmäßig verteilten Feldbelastung $P_1 : n$ und $P_2 : n$ aufzufassen. Es ist dann

$$P = \frac{P_1 l_1 (4 l_2 + l_1) + P_2 l_2 (4 l_1 + l_2)}{8 l_1 l_2}.$$

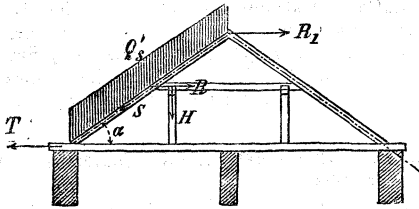
Ist Q_s die auf eine Binderhälfte winkelrecht zur Dachfläche wirkende gleichmäßige Belastung, so ist für $l_1 = l_2$: $P = \frac{5}{8} Q_s$.

Wirken in Abb. 165 die Lasten P nicht winkelrecht zur Dachfläche, sondern lotrecht, in der Richtung der Hängesäulen H , so sind die Spannkkräfte

$$H = + \frac{11}{30} Q; \quad S = - \frac{1}{\sin \alpha} \left(\frac{11}{30} Q + P \right); \quad R = - T = - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \left(\frac{11}{30} Q + P \right).$$

3. Kehlbalkendach.

Abb. 166.



Bedeutet (Abb. 166)
 Q_s' die lotrechte Belastung
 einer Binderhälfte, so sind
 die Spannkkräfte

$$R_1 = -\frac{3}{16} \frac{Q_s'}{\operatorname{tg} \alpha};$$

$$R = -\frac{5}{16} Q_s' \sin 2\alpha;$$

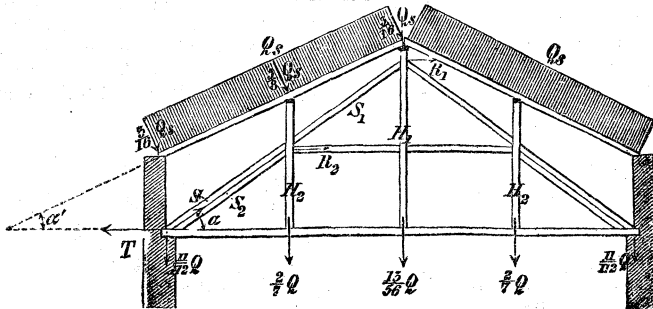
$$H = +\frac{5}{8} Q_s' \cos^2 \alpha;$$

$$S = -\frac{1}{16} \frac{Q_s'}{\sin \alpha} (3 + 10 \sin^2 \alpha); \quad T = +\frac{1}{16} \frac{Q_s'}{\operatorname{tg} \alpha} (3 + 10 \sin^2 \alpha).$$

4. Dachbinder mit dreifachem Hängewerk.

Die Belastung (Abb. 167) bestehe aus der gleichmäÙig über den Hauptbalken verteilten Last Q und der winkelrecht zur Dachfläche wirkenden halben Binderbelastung Q_s . Die Spannkkräfte sind

Abb. 167.



$$H_1 = +\frac{13}{56} Q; \quad H_2 = +\frac{2}{7} Q;$$

$$S_1 = -\frac{1}{112 \sin \alpha} (21 Q_s \cos \alpha' + 13 Q); \quad S_2 = -\frac{1}{56 \sin \alpha} (35 Q_s \cos \alpha' + 16 Q);$$

$$R_2 = -\frac{1}{56 \operatorname{tg} \alpha} (35 Q_s \cos \alpha' + 16 Q);$$

$$S = S_1 + S_2 = -\frac{1}{112 \sin \alpha} (91 Q_s \cos \alpha' + 45 Q);$$

$$T = +\frac{1}{112 \operatorname{tg} \alpha} (91 Q_s \cos \alpha' + 45 Q).$$

VIII. ERDDRUCK UND STÜTZMAUERN.*)

Man unterscheidet einen **aktiven (tätigen) Erddruck**, der das Bestreben hat, die Mauer durch Umkanten oder Verschieben aus ihrer Gleichgewichtslage zu bringen, und einen **passiven (ruhenden) Erddruck**, der einem Vordringen der Wand (z. B. infolge Gewölbeschubes) entgegenwirkt. Bei Berechnung von Stützmauern kommt nur der aktive Erddruck in Betracht.

Ermittlung des Erddruckes auf eine Stützmauer nach der Coulombschen Theorie.

Eine Mauer von der Länge 1 ist mit völlig kohäsionsloser Erde hinterfüllt. Weicht die Mauer aus, dann sei angenommen, daß sich eine **ebene** Rutschfläche AC bildet (Abb. 168). Das Gewicht des Prismas ABC einschliesslich der Auflast von B bis C ist G . Es wirken also auf das Prisma drei Kräfte, die miteinander im Gleichgewicht sein sollen, nämlich G und die Widerstände E der Mauer und Q des stehengebliebenen Erdkörpers. Die Richtungen von Q und E sind zunächst unbekannt. Im Grenzzustande des Gleichgewichts aber bildet Q mit der Normalen den Reibungswinkel $\delta = \rho$ von Erde auf Erde (= dem natürlichen Böschungswinkel); der Winkel δ' , den E mit der Normalen einschließt, sei durch die Erfahrung bekannt. Damit Gleichgewicht besteht, bilden G , E und Q ein Dreieck (Abb. 168).

Man ermittelt nun für verschiedene Winkel φ die zugehörigen Werte von E und macht die Wand so stark, daß sie dem grössten E gewachsen ist. Das dem E_{\max} entsprechende Prisma ABC ist das

Abb. 168.

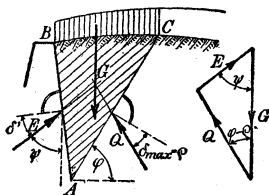
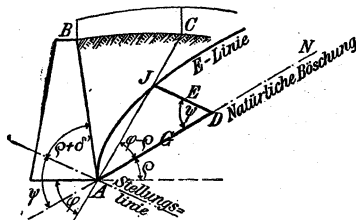


Abb. 169.



sogen. Coulombsche Prisma des grössten Druckes, und E_{\max} ist derjenige Widerstand, der mindestens geleistet werden muß, damit Gleichgewicht besteht.

Eine bequeme zeichnerische Ermittlung von E_{\max} zeigt Abb. 169. Man trägt von A aus die natürliche Böschungslinie AN unter ρ ein,

*) Nach Müller-Breslau, Erddruck auf Stützmauern; Kröner, 1906. — S. a. Müller-Breslau, Bemerkungen über die Berechnung des Erddruckes auf Stützmauern, Z. h. A. u. I. V. 1908. — F. Kötter, Die Entwicklung der Lehre vom Erddruck, Jahresber. d. dtsh. Math. Ver. 1893. — F. Kötter, Die Bestimmung des Drucks an gekrümmten Gleitflächen, eine Aufgabe aus der Lehre vom Erddruck. Verhänd. d. Phys. Gesellsch. zu Berlin. 1888 und Sitzungsber. d. Kgl. Preuss. Akad. d. Wissensch. 1903. — Möller, Erddrucktabellen; Hirzel, 1902 (Angaben über Abmessungen von Stützmauern).

zieht eine Gleitfläche AC unter φ und legt das Kräftedreieck so, daß G von A aus auf der natürlichen Böschung aufgetragen wird; dann findet man unter ψ gegen die natürliche Böschung die gesuchte GröÙe E . Für verschiedene Lagen der Gleitfläche AC wandert der Punkt J auf der sogen. **Culmannschen E -Linie**, die auf ein schiefwinkliges Koordinatensystem bezogen ist, dessen Achsen den Winkel ψ miteinander einschließen; die eine Achse ist die natürliche Böschung, die andere, die **Stellungslinie**, bildet mit der Wand AB den Winkel $(\delta' + \varphi)$. Die E -Linie gestattet die Ermittlung von E_{\max} . Analytisch ist

$$E = G \frac{\sin(\varphi - \varrho)}{\sin(\varphi - \varrho + \psi)} \dots \dots \dots (221)$$

Mittelwerte des natürlichen Böschungswinkels ϱ .

Erdart	Gewicht γ_e in t/cbm	ϱ	$\operatorname{tg} \varrho$	$\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2} \right)$
Dammerde, trocken	1,4	35° bis 40°	0,700 bis 0,839	0,271 bis 0,217
„ natürlich feucht	1,6	45°	1	0,172
„ gesättigt nafs	1,8	27°	0,510	0,376
Sand, trocken	1,58 bis 1,65	30° bis 35°	0,577 bis 0,700	0,333 bis 0,271
„ natürlich feucht	1,8	40°	0,839	0,217
„ gesättigt nafs	2,0	25°	0,466	0,406
Lehmboden, trocken	1,5	40° bis 45°	0,830 bis 1	0,217 bis 0,172
„ nafs	1,9	20° „ 25°	0,364 bis 0,466	0,490 „ 0,406
Tonerde, trocken	1,6	40° „ 50°	0,839 „ 1,192	0,217 „ 0,132
„ nafs	2,0	20° „ 25°	0,364 „ 0,466	0,490 „ 0,406
Kies, trocken	1,8 bis 1,85	35° „ 40°	0,700 „ 0,839	0,271 „ 0,217
„ nafs	1,86	25°	0,466	0,406
Gerölle, eckig	1,8	45°	1	0,172
„ rundlich	1,8	30°	0,577	0,333
Gaskohlen	0,9	45° bis 50°	1 bis 1,192	0,172 bis 0,132
Wasser	1,0	0°	0	1

In wichtigen Fällen ist γ_e und ϱ durch Versuch zu bestimmen.

Der Winkel δ' ist abhängig von der GröÙe der Reibung zwischen Wand und Hinterfüllung. Sein Wert liegt zwischen $\delta'=0^\circ$ bei vollkommen glatter Wand und $\delta'=\varrho$ bei rauher Wand. Wird δ' zu hoch angenommen, ist die Stabilität der Stützmauer fraglich; ein zu kleines δ' gibt eine wenig ökonomische Konstruktion. Nach den bisherigen Erfahrungen tritt die Voraussetzung einer absolut glatten Wand nicht ein. Trotzdem wird man der Sicherheit wegen bei asphaltierten Wänden, besonders wenn die Hinterfüllung nicht genügend entwässert ist, bei glatten Betonwänden, bei Kai- und Schleusenmauern mit leicht durchnässter Hinterfüllung $\delta'=0$ setzen. Gewöhnlich wird $\delta'=\varrho$ angenommen. Die Erddruckversuche von Müller-Breslau*) haben aber gezeigt, daß es zweckmäßiger erscheint, selbst bei rauhen Wänden und sorgfältiger Entwässerung des Erdkörpers $\delta'=\frac{3}{4}\varrho$ zu setzen.

Bei Versuchen mit schweren Einzellasten fiel δ' sogar bis $\frac{1}{2}\varrho$.

*) Müller-Breslau, Erddruck auf Stützmauern, § 10.

Bei gebrochener Wandfläche (Abb. 170) bestimmt man der Reihe nach die Drücke $E_1 E_2 E_3 \dots$ auf die einzelnen Wandstücke. E_1 wird nach Abb. 171 ermittelt; $E_2 E_3 \dots$ wie folgt. Es sei z. B. E_2 bereits gefunden, E_3 noch zu suchen. Aus dem Kräftepolygon für ein Erdprisma $A_3 B C_3$ erkennt man, daß die Aufgabe sich zurückführen läßt auf die Ermittlung eines größten Wertes

$$K_3 = E_3 + k_3$$

mittels einer Culmannschen K_3 -Linie, die der in Abb. 169 angewandten E -Linie entspricht. Analytisch ist

$$K = G''_3 \frac{\sin(\varphi - \varrho)}{\sin(\varphi - \varrho + \psi_3)} \dots \dots \dots (222)$$

Eine krumme Wandfläche wird in einzelne ebene Teile zerlegt und ebenso untersucht.

Unter der Bedingung, daß K eine stetige Funktion von φ sei, liefert bei stetiger Auflast die Gleichung

$$\frac{dE}{d\varphi} = \frac{dK}{d\varphi} = 0$$

den Widerstand, dem die Wand mindestens gewachsen sein muß. Man erhält:

$$G'' = - \frac{dG''}{d\varphi} \sin(\varphi - \varrho) \frac{\sin(\varphi - \varrho + \psi)}{\sin \psi}.$$

Das Gewicht G eines nach Abb. 171 c gestalteten Erdprismas von der Länge 1 ist

$$G = \gamma e \frac{dh}{2} + p d = \gamma' e \cdot F,$$

worin

$$\gamma' e = \gamma e + \frac{2p}{h},$$

γe das spezifische Gewicht der Hinterfüllung,

p die spezifische Auflast an der Stelle C ,

h das Lot von A auf die in C angetragene Geländetangente T_g

Mit Rücksicht auf Abb. 171 a folgt demnach für das Gewicht des sehr kleinen Prismas ACC'

$$dG'' = - \gamma' e \frac{1}{2} l^2 d\varphi.$$

Abb. 170.

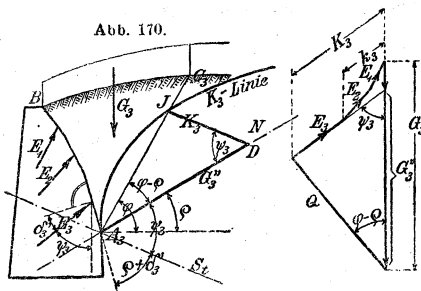
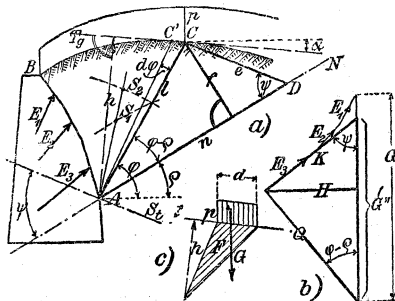


Abb. 171.



Zieht man von C aus eine Parallele e zur Stellungslinie und das Lot f auf die Böschungslinie, so ergibt sich (mit den in die Abbildung eingeschriebenen Bezeichnungen) als Bedingung für die Lage der Gleitlinie der **Rebhannsche Satz**

$$G'' = \gamma' e \frac{1}{2} f n.$$

Die Gleitfläche wird gefunden, indem man auf verschiedenen Strahlen AC die entsprechenden Strecken $AS_1 = G''$ und $AS_2 = \gamma' e \frac{1}{2} f n$ aufträgt; durch den Schnittpunkt der durch die Punkte S_1 bzw. S_2 bestimmten Kurven geht die gesuchte Gleitlinie. Die Proportion (Abb. 171 b u. a)

$K:Q:H:G'' = e:l:f:n$ liefert

$$\left. \begin{aligned} K &= \gamma' e \frac{1}{2} f e \\ Q &= \gamma' e \frac{1}{2} f l \\ H &= \gamma' e \frac{1}{2} f^2 \end{aligned} \right\} (223)$$

Dieses Verfahren ist für den folgenden Fall von Bedeutung.

Wand und Gelände sind eben, Auflast p ist gleichmäßig verteilt (Abb. 172). Nach dem Rebhannschen Satz ist

$$G'' = G = \gamma' e \triangle ACD \cdot 1 = \gamma' e \triangle ABC \cdot 1$$

und

$$\triangle ACD = \triangle ABC;$$

die Lage der Gleitlinie ist also unabhängig von der Auflast p und dem Gewicht γ_e der Hinterfüllung.

Ferner ist

$$BC = CO$$

und

$$\frac{c}{d} = \frac{b-x}{x-a} = \frac{b}{x}.$$

Die Lage des Punktes D ist bestimmt durch die **Ponceletsche Gleichung**

$$x = \sqrt{ab}.$$

Daraus folgt die **Ponceletsche Konstruktion des Erddruckes**

(Abb. 173). Man errichtet über AN einen Halbkreis, stellt das Lot JL in J auf, macht $AD = AL$ und geht von D aus unter ψ nach C . Dann ist

$$E = \gamma' e \cdot \frac{1}{2} f e \dots \dots \dots (224)$$

Abb. 172.

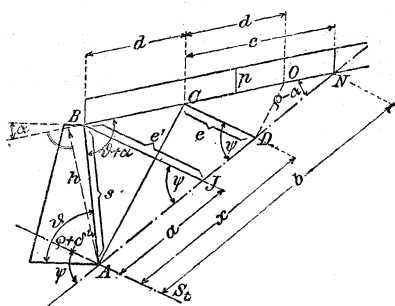
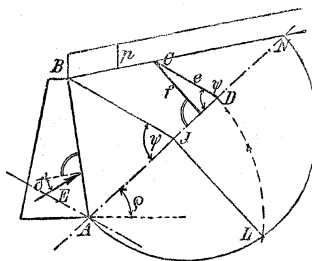


Abb. 173.



Dieser Wert zerlegt sich in

$$E_{\gamma} = \gamma e \frac{1}{2} f e \dots \dots \dots (224a)$$

den Erddruck des unbelasteten Geländes, und

$$E_p = \frac{p f e}{h} \dots \dots \dots (224b)$$

den Erddruck der Auflast.

Verkürzt man die Wand $AB = s$ auf $A'B = s'$ mit der Druckhöhe h' , so liefert die Ponceletsche Konstruktion die Strecken f' und e' . Es verhält sich dann

$$f' : f = e' : e = h' : h = s' : s,$$

und die Erddrücke auf die Wand $A'B$ werden

$$E'_r = E_r \frac{h^2}{h'^2} \quad \text{und} \quad E'_p = E_p \frac{h'}{h}.$$

Der **Verlauf der Drücke** E_{γ} kann daher durch eine Parabel mit dem Scheitel S , derjenige der E_p durch eine Gerade dargestellt werden (Abb. 174a). Der zur Druckhöhe h' gehörige spezifische Druck k setzt sich zusammen aus

$$k_{\gamma} = \frac{d E'_{\gamma}}{d h'} = \frac{2 E_{\gamma} h'}{h^2} \quad (\text{proportional } h')$$

und

$$k_p = \frac{d E'_p}{d h'} = \frac{E_p}{h} \quad (\text{konstant}).$$

Die **Belastungsfläche der Wand** ist ein Trapez, das aus einem Rechteck von der Breite $b' = k_p$ und einem Dreieck von der Basis $b = \gamma e \frac{f e}{h}$ besteht (Abb. 174b).

Der Schnittpunkt T der Trapezseiten liegt im Abstand $\frac{p}{\gamma e}$ vom Gelände. $\frac{p}{\gamma e}$ ist die auf das Gewicht der Hinterfüllung reduzierte Auflasthöhe. Zur Konstruktion der Belastungsfläche trägt man im

Abb. 174.

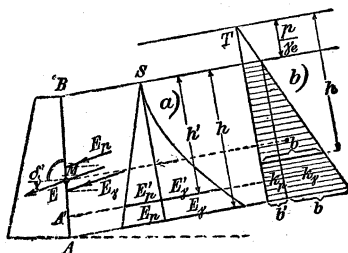
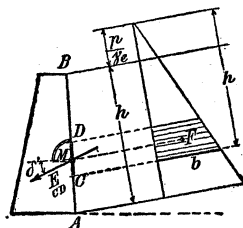


Abb. 175.



Abstand h von T die Breite b ein. Der **Angriffspunkt von E_{γ}** liegt im unteren Drittelpunkt von AB , derjenige **von E_p** im Mittelpunkt von AB . Der **Angriffspunkt M von E** ist bestimmt durch den Schwerpunkt des Trapezes, das hierzu von beliebiger Breite b gezeichnet werden darf.

Soll E auf ein Stück CD bestimmt werden, so berechnet man den Inhalt F (Abb. 175) der zugehörigen Druckfigur und erhält in M angreifend $E_{CD} = F \cdot 1$.

Ist der **Wandrücken gebrochen**, also aus mehreren, verschieden geneigten Wandstücken CD zusammengesetzt, so ermittelt man für die einzelnen Wandneigungen die Belastungsflächen, als hätte jedes Wandstück die Druckhöhe h , benutzt aber für jeden Streifen CD nur den ihm zukommenden Teil F der Druckfigur. In solche Wände trägt man eine vollständige Stützlinie ein (s. S. 208).

Sonderfälle bei gerader Terrain- und Wandlinie.

Abb. 176a: Punkt N liegt weit ab. Der Halbkreis wird über AB errichtet, $JJ' \parallel D'D \parallel BC$ gezogen.

Abb. 176b: Punkt J liegt außerhalb des Terrains. Der Halbkreis ist über AJ zu schlagen.

Abb. 176c: Die Punkte J , D und N fallen zusammen. Es wird $BC = CN = e$.

Abb. 176.

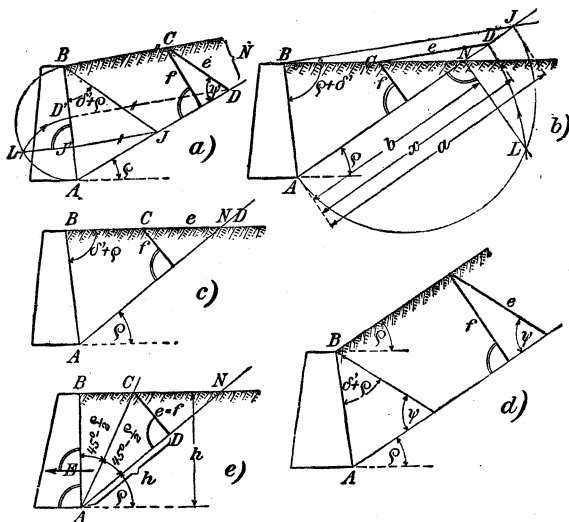


Abb. 176d: Die Geländelinie ist parallel zur natürlichen Böschungslinie; N und C liegen im Unendlichen. e und f kann an beliebiger Stelle gemessen werden.

Abb. 176e: Die Wand ist lotrecht und vollkommen glatt ($d' = 0$), das Gelände wagerecht. Man mache $AD = AB$; $e = f$.

Analytisch läßt sich E folgendermaßen ausdrücken (vgl. Abb. 172)

$$E = \gamma_e' \frac{1}{2} e^2 \sin \psi \quad (225)$$

Nach einer wagerechten Seitenkraft E_w und einer lotrechten E_l zerlegt, ergibt sich daraus

$$E_w = \gamma'_e \frac{1}{2} s^2 \nu^2 \quad \dots \quad (225a)$$

und

$$E_l = E_w \cdot \cotg \psi \quad \dots \quad (225b)$$

worin

$$\left. \begin{aligned} \nu &= \frac{\sin(\vartheta + \varrho)}{\varepsilon} \\ \varepsilon &= 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varrho - \alpha) \sin \omega}{\sin(\vartheta + \alpha) \sin \psi}} \\ \omega &= \varrho + \vartheta' \quad \text{und} \quad \psi = \vartheta - \vartheta' \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (226)$$

Die Gleitlinie AC ist bestimmt durch

$$BC = s \nu \frac{\varepsilon - 1}{\sin(\varrho - \alpha)} \quad \dots \quad (227)$$

Für den **Sonderfall einer lotrechten Wand** ($\vartheta = 90^\circ$) hat man mit folgenden Werten zu rechnen

α) bei geneigtem Gelände

$$\left. \begin{aligned} E_w &= \gamma'_e \frac{1}{2} s^2 \frac{\cos^2 \varrho}{\varepsilon^2} \\ BC &= \frac{s \cos \varrho}{\sin(\varrho - \alpha)} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (228)$$

β) bei wagerechtem Gelände und vollkommen glatter Wand (Abb. 176 e)

$$\left. \begin{aligned} E_w &= E = \gamma'_e \frac{1}{2} h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2} \right) \\ BC &= h \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad \vartheta' = 0 \quad \dots \quad (229)$$

Für den Durchschnittswert $\varrho = 37^\circ$ (bei Dammerde) ist

$$\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2} \right) \approx \frac{1}{4}.$$

Das gibt für den Erddruck des unbelasteten Geländes

$$E_\gamma = \frac{1}{8} \gamma_e h^3$$

und für den Erddruck der Auflast

$$E_p = \frac{1}{4} p h$$

Die Druckfigur (vgl. Abb. 174) setzt sich zusammen aus einem Dreieck von der Basis

$$b = \frac{h}{4} \gamma_e$$

und einem Rechtecke von der Breite

$$b' = \frac{p}{4}.$$

Dem ungünstigsten Wert $\varrho = 20^0$ bis 22^0 (bei Schleusenmauern) entspricht

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}^2 \left(45^0 - \frac{\varrho}{2} \right) &\approx \frac{1}{2} \\ \left. \begin{aligned} E_r &= \frac{1}{4} \gamma_e h^2 \\ E_p &= \frac{1}{2} p h \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (229b) \end{aligned}$$

Für die zugehörige Druckfigur (vgl. Abb. 174) wird

$$b = \frac{h}{2} \gamma_e \quad \text{und} \quad b' = \frac{p}{2}.$$

$\gamma)$ bei wagerechtem Gelände und volikommen rauher Wand

$$\left. \begin{aligned} E_w &= \gamma_e \frac{1}{2} h^2 \frac{\cos^2 \varrho}{(1 + \sqrt{2} \sin \varrho)^2} \\ E &= E_w \cdot \frac{1}{\cos \varrho} \end{aligned} \right\} \delta' = \varrho \quad (230)$$

Bei gebrochener Geländelinie kommt es darauf an, den Polygonquerschnitt des Druckprismas in einen Dreieckquerschnitt zu verwandeln, dessen obere Begrenzung in derjenigen Terrainlinie liegt, in die C hineinfällt.

Liegt der Knick K der Geländelinie (Abb. 177) in größerer Entfernung von der Wand, so daß Punkt C zwischen B und K liegt, dann hat die Aenderung der Terrainneigung keinen Einfluss auf E .

Abb. 177.

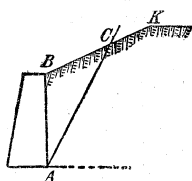
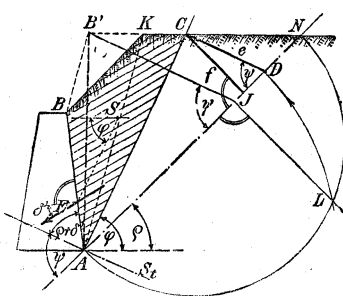


Abb. 178.



Fällt C rechts von K (Abb. 178), verwandelt man das Dreieck ABK in das inhaltsgleiche Dreieck $AB'K$ und verfährt nun genau so, als hätte die Wand die Lage AB' . Die Stellungslinie St jedoch schließt den Winkel $\delta' + \varrho$ mit der ursprünglichen Wandrichtung AB ein. Der Beweis für die Richtigkeit folgt aus dem Rebhannschen Satze

$$\triangle AB'C = \triangle ABK = \triangle ACD.$$

Der Angriffspunkt von E ist genügend genau bestimmt durch den Schwerpunkt S des Prismas $ABKC$ und eine Parallele zur Gleitfläche AC .

Regel mit einem Reibungswinkel von $\alpha \cong 35^\circ$ ($\operatorname{tg} \alpha \cong 0,7$) für Mauerwerk auf Mauerwerk rechnen darf. Ergibt sich α zu groß, so mauere man in Fugen, die R weniger schräg durchgehen lassen.

Bezeichnet

m den Querschnittsschwerpunkt,

F den Querschnittsinhalt,

e die Exzentrizität,

W die Widerstandsmomente,

und rechnet man bei Mauerwerk die Druckspannungen positiv, so folgt für die Kantenpressungen in AB

$$\left. \begin{aligned} \sigma_l &= \frac{N}{F} + \frac{N \cdot e}{W_l} \\ \sigma_r &= \frac{N}{F} - \frac{N \cdot e}{W_r} \end{aligned} \right\} \dots (231)$$

Führt man die Kernpunkte \mathfrak{L} und \mathfrak{R} ein, deren Lage bestimmt ist durch die Kernweiten

$$k_l = \frac{W_r}{F} \quad \text{und} \quad k_r = \frac{W_l}{F} \quad (232)$$

so können die Spannungen durch die Kernpunktmomente ausgedrückt werden, wenn der Stützpunkt s im Kern liegt. Es ergibt sich

$$\sigma_l = \frac{N \cdot \eta_r}{W_l} \quad \text{und} \quad \sigma_r = \frac{N \cdot \eta_l}{W_r} \dots (233)$$

Man kann aber auch mit folgenden Formeln rechnen

$$\sigma_l = \frac{R \cdot \xi_r}{W_l} \quad \text{und} \quad \sigma_r = \frac{R \cdot \xi_l}{W_r} \dots (234)$$

Für den Rechteckquerschnitt vereinfachen sich diese Gleichungen zu (Abb. 181)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_l &= \frac{N}{d} \left(1 + \frac{6e}{d} \right) = 6 \frac{N \cdot \eta_r}{d^2} \\ \sigma_r &= \frac{N}{d} \left(1 - \frac{6e}{d} \right) = 6 \frac{N \cdot \eta_l}{d^2} \end{aligned} \right\} (235)$$

oder zu

$$\sigma_l = 6 \frac{R \cdot \xi_r}{d^2} \quad \text{und} \quad \sigma_r = 6 \frac{R \cdot \xi_l}{d^2} \quad (236)$$

Liegt der Stützpunkt s bei dem Rechteckquerschnitt außerhalb des Kerns, so empfiehlt es sich, die Zugbeanspruchungen in der Mauerwerkfuge zu vernachlässigen; in der Fundamentsohle treten Zugspannungen überhaupt nicht auf. Greift N im Abstande ξ von der stärkst gedrückten Kante an (Abb. 182), dann stelle man nur einen Querschnitt von

Abb. 181.

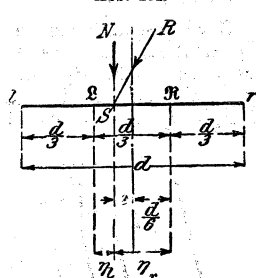
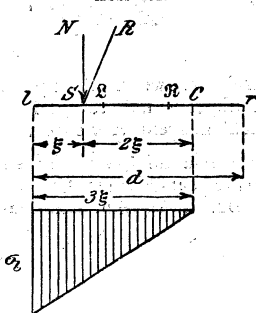


Abb. 182.

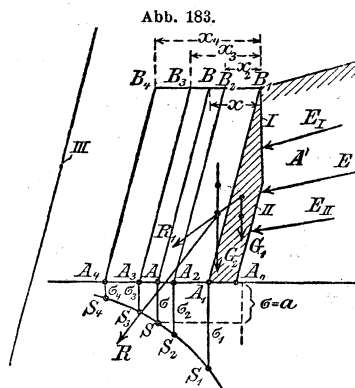


der Gesamtlänge 3ξ in Rechnung und denke sich rechts von C die Wand aufgerissen. Für die als tragend angenommene Fuge liegt s in der Kerngrenze, und man erhält

$$\sigma_l = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot \xi \cdot 1} \quad \text{und} \quad \sigma_r = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (237)$$

Um ein gutes Bild des Sicherheitsgrades der Mauer zu erhalten, zeichne man eine **Spannungslinie** (σ -Linie) für die stärkste Kantenpressung. Es sei z. B. für die in Abb. 183 dargestellte Mauer die Rückwand I und II und die Richtung der Vorderwand III gegeben. Gesucht ist die Kronenbreite für eine größtmögliche zulässige Pressung $\sigma = a$.

Zur Konstruktion ziehe man $B_1 A_1 \parallel$ zu III durch B_1 , bestimme E_I und E_{II} (s. S. 205), setze deren Mittelkraft \bar{E} mit G_1 , dem Gewicht von $A_1 B_1 A' A_0$ zusammen, suche R_1 , berechne hierfür die vordere Kantenpressung σ_1 und trage sie auf $A_1 S_1 \perp A_0 A_4$ auf. Dann verstärke man die Mauer $A_1 B_1 A' A_0$ um das Parallelogramm $A_1 B_1 B_2 A_2$ mit der Kronenbreite x_2 ,



suche hierfür durch Zusammensetzung der Mittelkraft R_1 mit G_2 , dem Gewicht von $A_1 B_1 B_2 A_2$, die neue Mittelkraft R_2 , berechne σ_2 und bestimme wie vorher S_2 . Dasselbe Verfahren wiederholt man noch für Mauern mit den weiteren Verstärkungen $A_2 B_2 B_3 A_3$ bzw. $A_3 B_3 B_4 A_4$ und den Kronenbreiten x_3 und x_4 , wobei zweckmäßig $x_3 = 2x_2$ und $x_4 = 3x_2$ gewählt werden. Die Punkte S bestimmen die **Spannungskurve**. Darauf trägt man das zulässige $\sigma = a$ senkrecht auf $A_0 A_4$ auf, findet S und senkrecht darüber Punkt A , zieht $AB \parallel$ III und erhält x . Man darf aber die Mauer nicht nach dem zulässigen σ konstruieren, wenn die Spannungskurve sich in dessen Nähe rasch der Asymptote nähert. Die zulässige Pressung kann in solchem Falle nicht ausgenutzt werden. Darauf ist besonders zu achten.

Ein ähnliches Verfahren empfiehlt sich bei Berechnung aller Bauwerke auf kleiner Grundfläche, z. B. der Fabrikschornsteine. Vgl. II. Bd. 1. Abschn. Kraftmaschinen, III. Dampfkessel.

IX. GEWÖLBE.*)

Erfahrungsangaben über die verschiedenen Gewölbearten s. Abschn. Hochbau.

A. Abschätzung der Gewölbestärke.

Die genaue Bestimmung der Gewölbeform und die Berechnung und der erforderlichen Gewölbestärken bei vorgeschriebener Spannweite und Beanspruchung ist erst möglich nach Annahme eines bestimmten Querschnittes, welcher die ungefähre Form und Stärke des Gewölbes enthält.

Um hierbei grobe Mißgriffe zu vermeiden, ist es zweckmäßig, zunächst die Kämpfer- und Scheitelstärke mittels folgender Formeln überschläglich zu bestimmen. Bezeichnet

l die lichte Weite zwischen den Widerlagern in m,

l_1 die halbe Stützweite der Bogenmittellinie in m,

h die Pfeilhöhe der inneren Bogenlinie in m,

h_1 die Pfeilhöhe der Bogenmittellinie in m,

d_0 die Gewölbestärke im Scheitel in m,

d_1 die Gewölbestärke am Kämpfer in m,

d die mittlere Gewölbestärke in m, $d = \frac{1}{2}(d_0 + d_1)$,

φ_0 den Neigungswinkel der Stützlinientangente am Kämpfer gegen die Wagerechte,

γ das Gewicht des Gewölbemauerwerks in kg/cbm,

z_1 die auf γ bezogene Höhe der Baulast im Scheitel (also Uebermauerung, Abdeckung, Pflasterung, Ueberschüttung, Gleisgewicht usw. in m),

$d_0 + z_1$ bei Brücken (angenähert) die Bauhöhe in der Mitte der Fahrbahn im Scheitel in m,

p die auf γ bezogene Höhe der größten Verkehrslast in m,

k_0 die mittlere Scheiteldruckspannung in kg/qcm, die bei gleichmäßiger Belastung der Brücke mit $\frac{1}{2}p$ nicht überschritten werden soll,

dann ist

a) nach G. Tolkmitt (Abb. 184)**)

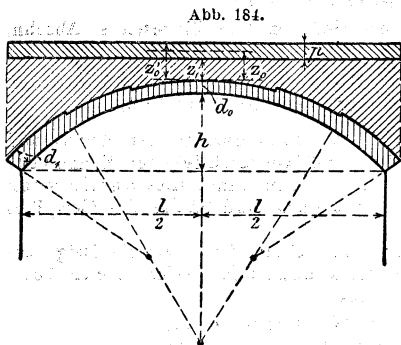
$$\left. \begin{aligned} d_0 &\geq \frac{0,5 p h}{(d_0 + z_1) + 0,5 p + 0,15 h} \\ d_0 &\geq 0,000014 \frac{\gamma}{k_0} \frac{l^2}{h} [(d_0 + z_1) + 0,5 p + 0,2 h] \end{aligned} \right\} \dots (238)$$

Beide Bedingungen müssen für d_0 erfüllt werden, u. zw. die erste, damit bei der ungünstigsten Belastung (vgl. S. 215) eine Stützlinie möglich ist, die nicht aus dem mittleren Gewölbedrittel heraus-

*) S. auch E. Autenrieth, Die statische Berechnung der Kuppelgewölbe, Berlin 1894, J. Springer.

**) Vgl. G. Tolkmitt, Das Entwerfen und die Berechnung der Brückengewölbe, Z. f. B. 1885 S. 263, und G. Tolkmitt, Leitfaden für das Entwerfen und die Berechnung der gewölbten Brücken, 2. Aufl., bearbeitet von Laskus, Berlin 1902, W. Ernst & Sohn.

tritt, und die zweite, damit die Spannung k_0 nicht überschritten wird. Die größte, bei richtiger Bogenform im Gewölbe auftretende Druckspannung wird dann höchstens $k = 2k_0$. Die Belastungshöhen p für Verkehr s. S. 65.



Für Brückengewölbe mit Klinkermauerwerk in Zementmörtel wähle man i. M. $k_0 = 8 \text{ kg/qcm}$, bei Quaderstein-Mauerwerk $k_0 = 15 \text{ kg/qcm}$. Man findet d_0 durch einige Versuchsrechnungen.

Vom Scheitel nach den Widerlagern hin muß die Gewölbestärke entsprechend dem wachsenden Fugendrucke zunehmen. Ueber die Bestimmung der richtigen Bogenform s. S. 214.

b) Nach H. Müller-Breslau*) ist die größte, bei einseitiger Vollbelastung entstehende Druckspannung (in kg/qcm) in der Kämpferfuge der belasteten Gewölbehälfte unter der Voraussetzung, daß das Gewölbe als Stützliniengewölbe konstruiert wird (Abb. 185).

$$k_1 = \frac{\gamma l_1^2}{20\,000 d_1 h_1} \left\{ \left(d_0 + z_1 + 0,5p + 0,14h \right) \left(\frac{1}{\cos \varphi_0} \mp \frac{4 \frac{h_1}{d_1}}{\left(\frac{h_1}{d_1} \right)^2 + 1} \right) \mp 0,75 p \frac{h_1}{d_1} \right\} \dots \dots \dots (239)$$

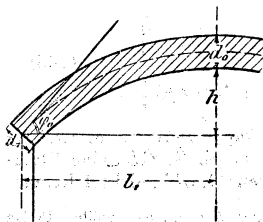
Um die Gewölbestärke abzuschätzen, berechne man vorher φ_0 nach der Formel

$$\operatorname{tg}^2 \varphi_0 = \frac{4 h_1^2}{l_1^2} \cdot \frac{z_0 + 0,5 h_1}{z_0 + 0,14 h_1} \dots \dots \dots (240)$$

wobei

$$z_0 = d_0 + z_1 + 0,5 p \text{ in m ist.}$$

Man muß nun d_0 und d_1 versuchsweise annehmen, worauf bei zu großem oder zu kleinem k_1 die Abmessungen zu vergrößern oder zu verkleinern sind.



Das Verhältnis $d_0 : d_1$ kann man bei flachen Gewölben $= \cos \varphi_0$ wählen, jedoch sei hierbei $d_0 : d_1 \geq 0,5$.

Das obere Vorzeichen (—) in Gleichung 239 bezieht sich auf die obere, das untere (+) auf die untere Kante der Kämpferfuge. Wird der eine der beiden Werte von k_1 negativ, so zeigt dies an, daß die Stützlinie das mittlere

Drittel der Kämpferfuge, d. h. den Kern, verläßt.

*) Vgl. H. Müller-Breslau, Elastizitätstheorie der nach der Stützlinie geformten Tonnengewölbe, Z. f. B. 1886.

Bedeutet dann k_1' die Druckspannung in kg/qcm und k_1'' die Zugspannung der Kämpferfuge, beide Werte absolut genommen, so hat man, sobald der Zugwiderstand des Mauerwerkes vernachlässigt wird, zu setzen

$$k_1 = \frac{\gamma_1 l_1^2}{10\,000 d_1 h} (z_0 + 0,14 h) \frac{1}{\cos \varphi_0} \frac{k_1' - k_1''}{k_1' - 2k_1''} \quad (241)$$

B. Berechnung der Gewölbe.

1. Mittelkraftpolygon und Stützlinie.

Die Kämpferpunkte liegen in derselben Höhe. Das Gewölbe ist in bezug auf die Mittelachse symmetrisch. Der Bogen ohne Gelenke ist dreifach statisch unbestimmt, weil sechs Unbekannte (A , H und $M_{(a)}$, sowie B , H_1 und $M_{(b)}$), aber nur drei Gleichgewichtsbedingungen vorhanden sind. (Vrgl. Abb. 186.)

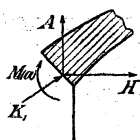
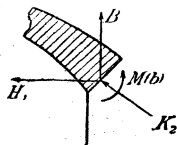


Abb. 186.



A , H und $M_{(a)}$ seien ermittelt, also K_1 nach Lage, Größe und Richtung bekannt. Zeichnet man dann das Kräfte- und das zugehörige Seilpolygon (Abb. 187 und 188), das durch die Punkte A , B , C geht, so entsteht das **Mittelkraftpolygon**; seine Schnittpunkte mit den Fugen heißen **Stützpunkte**

Abb. 187.

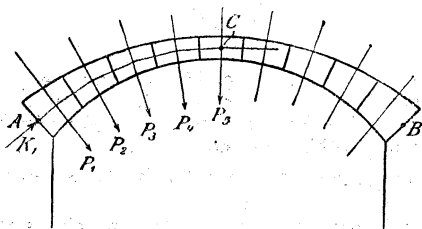
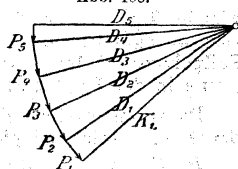


Abb. 188.



und der geometrische Ort der letzteren die **Stützlinie**. Diese wird bei gleichmäßig belastetem Gewölbe unter der Voraussetzung ermittelt, daß Scheitel- und Kämpferdruck durch die Fugenmitten gehen.

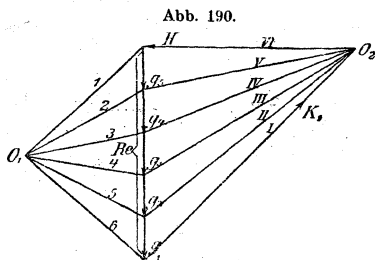
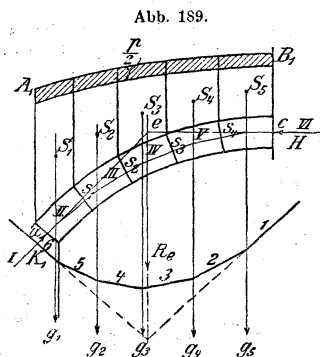
2. Bestimmung der Gewölbeform und Spannkkräfte.

Zunächst zeichne man eine aus architektonischen und praktischen Gründen zweckmäßig erscheinende Gewölbeform versuchsweise, berechne nach den Formeln (238 bis 241) allgemein die Kämpfer- und Scheitelstärken und vervollständige dann den Querschnitt des Gewölbes. Hierbei werden flache Gewölbe in der Regel kreisförmig gebildet,

Dann sucht man die auf Mauerwerk bezogene Belastungslinie $A_1 B_1$ (Abb. 189) für Eigenlast und eine gleichmäßig auf beide Hälften verteilte Verkehrslast $\frac{1}{2}p$ auf. Zu dem Zweck empfiehlt es sich, die Einzellasten durch eine gleichmäßige Last zu ersetzen und bei Eisenbahnbrücken $p = 1600$ bis 2500 kg/qm bei Straßenbrücken $p = 800$ bis 1000 kg/qm anzunehmen.

Darauf wird die Gewölbeform in folgender Weise verbessert:

Es wird die Gewölbehälfte in Streifen mit den Gewichten $g_1, g_2, g_3 \dots$ zerlegt (Abb. 190), die in den Schwerpunkten S_1 bis S_5 dieser Streifen angreifen. Die Zerlegung erfolgt in der Art, daß man bei flachen Gewölben die Teile in wagerechter Richtung gleichmacht; bei stark gekrümmten dagegen die



gleiche Teilung auf dem Bogen vornimmt. g_1 bis g_5 werden zu R_e zusammengesetzt, dessen Angriffspunkt man mittels des Kräfte- und Seilpolygons 1 bis 6 bestimmt. Die Kämpfer- und Scheitelstützkraft greife in der Fugenmitte a und c (Abb. 189) an.

Da symmetrische Belastung angenommen wurde, ist der Scheitel-
druck wagerecht und gleich H .

H, R_e und K_1 müssen sich das Gleichgewicht halten, also sich in e schneiden.

Die Zerlegung von R_e nach ce und ae liefert H, K_1 und den Pol O_2 . Nun wird zu dem Kräftepolygon mit der Polweite H durch die Punkte a und c das Mittelkraftpolygon gezeichnet, das die Fugen in den Stützpunkten s_1 bis s_4 schneidet. Die Richtung einer jeden Polygonseite fällt mit der auf den betr. Bogenteil wirkenden Mittelkraft der äußeren Kräfte zusammen, wobei jede Mittelkraft dem Kräfteplan unmittelbar zu entnehmen ist. Die Verbindung der Punkte $s_1, s_2 \dots$, die Stützlinie, fällt mit dem Mittelkraftpolygon annähernd zusammen.

Das zweckmäßigste Gewölbe erhält man, wenn die Mittellinie des gewählten Gewölbequerschnitts, die Bogenachse, mit der Stützlinie zusammenfällt, weil sich hierbei der Druck gleichmäßig über die einzelnen Querschnitte verteilt. Weicht also die gefundene Stützlinie

erheblich von der Bogenmitte ab, so ist das Verfahren zu wiederholen und eine günstigere Gewölbeform zu bestimmen.

3. Die Stützlinie und die Spannkkräfte im gleichmäßig belasteten Gewölbe

werden wie in 2. ermittelt, nur daß die volle Verkehrslast p für $\frac{1}{2}p$ eingesetzt wird.

4. Ermittlung der Stützlinie und der Spannkkräfte im einseitig belasteten Gewölbe.

Ist die Verkehrslast p verhältnismäßig klein, so pflegt man als ungünstigste Belastung die in Abb. 191 dargestellte anzusehen. Die Stützlinie schneidet dann die Kämpferfugen und die Scheitelfuge in Punkten a, b, c , deren Abstände (in m) von der Mittellinie des Gewölbes bestimmt sind durch die Gleichungen (vgl. die Bezeichnungen S. 211):

$$e = \frac{5 d_0^2}{16 h_1} \quad (242)$$

für den Punkt c (nach E. Winkler);

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \cos \varphi_0 \left[2e + \frac{1}{8} \frac{p h_1}{z_1 + 0,14 h_1} \right] \text{ für } a \\ e_2 &= \cos \varphi_0 \left[2e - \frac{1}{8} \frac{p h_1}{z_1 + 0,14 h_1} \right] \text{ für } b \end{aligned} \right\} \quad (243)$$

(nach H. Müller-Breslau).

Ergibt sich für e_2 ein negativer Wert, so liegt Punkt b der Stützlinie oberhalb der Gewölbemittellinie.

Zur Ermittlung der Stützlinie verbindet man die Streifengewichte (in t), 1, 2, 3 ... 8 durch ein Seilpolygon $I' II' III' \dots IX'$ (Abb. 191), für das im Kräftepolygon (Abb. 192) der Pol O' beliebig gewählt werden darf, bringe die Senkrechten durch a, b, c in a', b', c' mit diesem

Abb. 191.

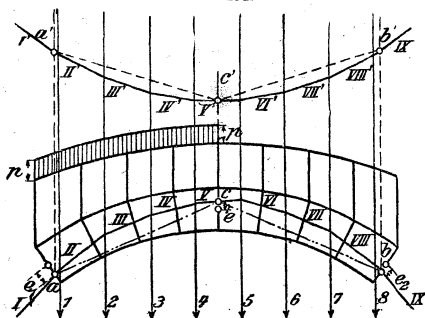
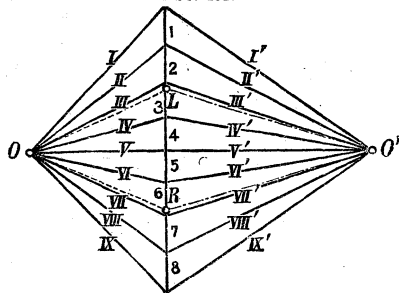


Abb. 192.



Seilpolygon zum Schnitt und ziehe $O'L$ parallel $c'a'$, $O'R$ parallel $c'b'$, hierauf LO parallel ca und RO parallel cb . Dann ist O der Pol des Kräfteplanes für die gesuchte Stützlinie I III III ... IX.

5. Bestimmung der Kantenpressung im Gewölbe.

Gesucht seien z. B. die Pressungen in Fuge 3 (Abb. 193). Der Druck D auf diese Fuge ist durch den mit dem Kräftemaßstabe zu messenden Strahl III (in t) gegeben; die Lote von den Kernpunkten o und u auf die Polygonseite III seien η_o bzw. η_u in m. Dann sind, wenn d die Fugenlänge in m ist, die Kantenpressungen in t/qm

$$k_o = \frac{6 D \eta_u}{d^2} \quad \text{und} \quad k_u = \frac{6 D \eta_o}{d^2} \quad (244)$$

Schneidet III die Fuge außerhalb des Kernes (d. h. außerhalb des mittleren Fugendrittels), so findet man unter Vernachlässigung der entstehenden Zugspannungen die größte Druckspannung in t/qm

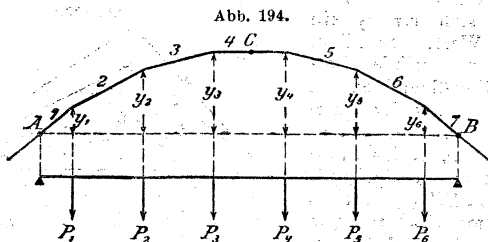
$$k = \frac{2 D \cos \alpha}{3 \xi} \quad \dots \quad (245)$$

worin ξ (in m) den Abstand des Angriffspunktes des Druckes D von der am stärksten gepressten Kante und α den Winkel bedeutet, den D mit der Senkrechten zur Fuge einschließt.

Der Winkel α muß überall kleiner sein als der Reibungswinkel der Ruhe für Mauerwerk auf Mauerwerk (s. I. Bd., Abschn. Reibung), also $\operatorname{tg} \alpha \leq \mu_0$, worin im Mittel $\mu_0 = 0,7$. Am besten ist $\alpha = 0$, d. h. die Stützlinie treffe die Fuge winkelrecht.

6. Berechnung der Stützlinie (Abb. 194 und 195).

Man belastet einen einfachen Balken AB von der Stützweite der



Bogenmittellinie mit $P_1, P_2 \dots$ und faßt die Fläche ACB als Momentenfläche für diese äußeren Kräfte auf. Dann berechnet man die Auf-

lagerdrücke A und B für den einfachen Balken; hierauf die Biegemomente $M_1, M_2 \dots$ und erhält aus

$$\begin{aligned} M_1 &= Hy_1 \\ M_2 &= Hy_2 \\ &\dots \end{aligned}$$

Abb. 195.

die Werte

$$y_1 = \frac{M_1}{H}; \quad y_2 = \frac{M_2}{H} \dots,$$

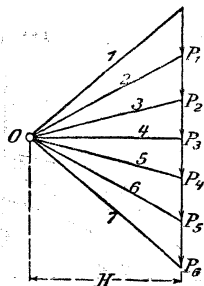
wo

$H = \frac{M_c}{f}$ den Horizontalschub,

M_c das Moment in der Mitte und
 f die Pfeilhöhe der Bogenmittellinie be-
deutet, also

$$y_m = \frac{M_m}{H} = \frac{M_m}{M_c} f \dots (246)$$

d. h. die Stützlinie ist die Umkehrung der Kettenlinie.



C. Elastizitätstheorie der Gewölbe.*)

Dieser Berechnung geht nach 2., S. 213 die Annahme einer bestimmten Gewölbeform, Ermittlung der auf Mauerwerk bezogenen Belastungslinie für $g + \frac{1}{2}p$, Zeichnung der durch Scheitel- und Kämpfermitte gehenden Stützlinie, Berichtigung derselben und der Gewölbeform usw. voraus. Hat man so ein Gewölbe gefunden, bei dem die Stützlinie annähernd mit der Gewölbemittellinie zusammenfällt, unter der Annahme, daß diese durch den Mittelpunkt der Scheitel- und Kämpferfuge geht, dann folgt die genauere Untersuchung des Gewölbes als eines eingespannten Bogens, d. h. man sucht die wirkliche Stützlinie auf und berechnet die Spannungen mit Hilfe der drei Elastizitätsgleichungen

$$\int \frac{M ds}{EJ} = 0 \dots \dots \dots (247)$$

$$\int \frac{My ds}{EJ} - \int \frac{N dx}{EF} = 0 \dots \dots \dots (248)$$

$$\int \frac{Mx ds}{EJ} + \int \frac{N dy}{EF} = 0 \dots \dots \dots (249)$$

Diese Berechnung erstreckt sich auf zwei Belastungszustände:

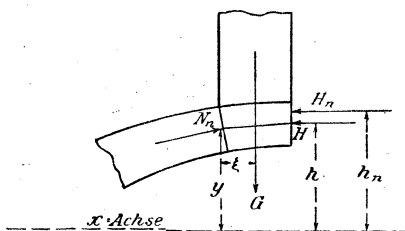
- α) Bogen belastet durch g und ein gleichmäßig verteiltes $\frac{1}{2}p$,
- β) eine Bogenhälfte gleichmäßig belastet mit p .

*) Nach H. Müller-Breslau, Elastizitätstheorie der nach der Stützlinie geformten Tonnengewölbe, Z. f. B. 1886, und nach seinen besonderen Vorlesungen an der Technischen Hochschule zu Berlin.

Sie ist nicht anzuwenden auf Gewölbe mit Kämpfer- bzw. Scheitelgelenken, weil diese statisch bestimmt sind.

1. Das Gewölbe sei gleichmäßig belastet. Zu berechnen ist nach Größe und Lage der Horizontalschub, der die Elastizitätsgleichungen erfüllt. Es sei (Abb. 196 und 197)

Abb. 196.



die x -Achse die Ausgleichs-
linie des Bogens (siehe
weiter unten),

H der Horizontalschub der
mit der Bogenachse zu-
sammenfallenden Stütz-
linie,

H_n der wirkliche Horizont-
alschub für diesen Be-
lastungszustand nach den
Elastizitätsbedingungen,

dann ist

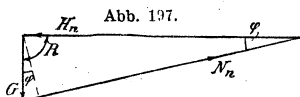


Abb. 197.

$$M = H_n(h_n - y) - G\xi$$

$$0 = H(h - y) - G\xi$$

$$M = H_n h_n - H h + (H - H_n) y$$

$$M = H_n h_n - H h + \Delta H y.$$

$$\int \frac{M ds}{EJ} = 0; \quad \int M ds \frac{J_c}{J} = 0 \quad \dots (247a)$$

wo E den Elastizitätsmodul,

J das Trägheitsmoment des Querschnittes,

J_c ein beliebiges unveränderliches Trägheitsmoment bedeuten.

Ist $dw = ds \frac{J_c}{J}$ das elastische Gewicht des Bogenelementes,
so wird

$$\int M dw = \Delta H \int y dw + (H_n h_n - H h) \int dw = 0.$$

Die x -Achse ist so gewählt, daß sie die Schwerachse des elastischen Bogengewichtes wird

$$\int y dw = 0,$$

folglich

$$H_n h_n = H h$$

$$M = \Delta H y.$$

Der Normaldruck ist

$$N = H \sec \varphi$$

$$N = H \cos \varphi + G \sin \varphi \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$N_n = H_n \cos \varphi + G \sin \varphi \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$N - N_n = \Delta H \cos \varphi$$

$$N_n = H \sec \varphi - \Delta H \cos \varphi.$$

Nach Gl. 248 ist $\int \frac{My ds}{EJ} - \int \frac{N dx}{EF} = 0$

$$\text{und } \int My ds \frac{J_c}{J} - \frac{J_c}{F_c} \int N_n ds \cos \varphi \frac{F_c}{F} = 0 \quad (248a)$$

Setzt man in dieser Gleichung

$$ds \frac{J_c}{J} = dw, \quad ds \frac{F_c}{F} = dw'$$

und für M und N_n die oben gefundenen Werte ein, so wird

$$\frac{F_c}{J_c} \Delta H \int y^2 dw - H \int dw' + \Delta H \int \cos^2 \varphi dw' = 0 \quad (250)$$

Wenn man noch F_c und J_c durch dw und dw' und diese wieder durch δ und δ_c ausdrückt, wo $\delta_1, \delta_2 \dots$ die Stärke der einzelnen Gewölbstücke und δ_c einen beliebigen festen Wert bedeutet,

$$dw = ds \left(\frac{\delta_c}{\delta} \right)^3, \quad dw' = ds \frac{\delta_c}{\delta},$$

so ergibt sich

$$\Delta H = H\mu,$$

$$\text{worin } \mu = \frac{\int dw'}{\frac{12}{\delta_c^2} \int y^2 dw + \int dw' \cos^2 \varphi} \quad (251)$$

ist.

2. Der mit g und einer gleichmäßig verteilten Last $\frac{1}{2}p$ voll belastete Bogen. Die Stützlinie falle mit der Bogenachse zusammen.

a. Bestimmung der x -Achse.

Die x -Achse wird so gewählt, daß sie Schwerachse des elastischen Bogenengewichts ist. Bei ihrer Konstruktion werden statt der Differentiale ds endliche Bogenstücke eingesetzt. Es werden zunächst die Kräfte $w_1, w_2 \dots$ berechnet nach der Formel

$$w_1 = s_1 \left(\frac{\delta_c}{\delta_1} \right)^3; \quad w_2 = s_2 \left(\frac{\delta_c}{\delta_2} \right)^3 \dots,$$

wo $s_1, s_2 \dots$ die einzelnen, zweckmäßig gleich lang zu machenden Bogenstücke,

$\delta_1, \delta_2 \dots$ die mittlere Stärke dieser Bogenstücke und δ_c einen beliebigen festen Wert bedeuten.

Dann wird mit der beliebigen Polweite w_p (Abb. 198 und 199) der Kräfteplan und danach das Seilpolygon I, II \dots IV für die Kräfte $w_1, w_2 \dots w_5$ gezeichnet und durch den Schnittpunkt der äußeren Polygonseiten I und VI die x -Achse gelegt, somit h_0 und h_u gefunden.

b. Berechnung von ΔH (Abb. 198 und 199).

Da es genügt, die Bogendifferentiale durch endliche Bogenstücke zu ersetzen, werden die Integrale in dem Ausdrucke für μ (Gleichung 251) am besten zeichnerisch ermittelt (Abb. 198 und 199).

$\int y^2 dw$ ist das Trägheitsmoment der Gewichte w in bezug auf die Schwerachse dieser Gewichte; es wird mittels zweier Seilpolygone (Polweiten w_p und a) bestimmt. Dann ergibt sich

$$\Sigma w y^2 = w_p a c.$$

a und c sind mit dem Längenmaßstabe der Zeichnung zu messen, w_p mit dem hiervon unabhängigen Maßstabe, in dem die Gewichte w dargestellt worden sind. Man erhält schließlich

$$\mu = \frac{\Sigma w'}{\frac{12 w_p a c}{\delta c^2} + \Sigma w' \cos^2 \varphi} \quad (252)$$

Damit ist $\Delta H = H\mu$ gefunden; das Scheitelmoment $M_s = \Delta H h_0$ und das Kämpfermoment $M_k = \Delta H h_u$ sind zu berechnen.

Die Werte $w' \cos^2 \varphi$ werden am besten so gefunden, daß man die ausgerechneten Größen w'_5, w'_4, \dots, w'_1 unter den Winkeln $\varphi_5, \varphi_4, \dots, \varphi_1$ in einem bestimmten Maßstab aneinanderreihet und je zwei Senkrechte einträgt (Abb. 200).

Falls die Bogenstücke s gleich lang sind, kann man in der Formel für μ Zähler und Nenner durch s teilen und rechnet dann mit

$$w_1 = \left(\frac{\delta c}{\delta_1} \right)^3, \quad w_2 = \dots,$$

$$w'_1 = \frac{\delta c}{\delta_1}, \quad w'_2 = \dots$$

Die elastischen Gewichte sind Zahlen, folglich auch im Zahlenmaßstab, u. zw. demselben wie w_p zu messen,

Abb. 198.

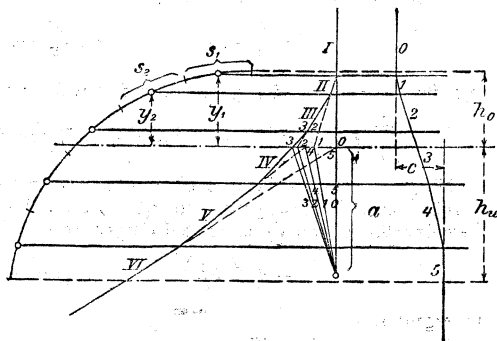


Abb. 199.

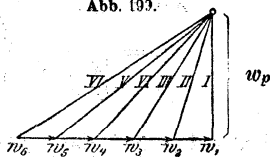
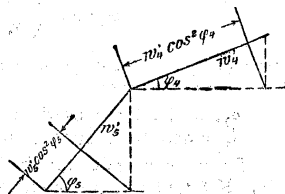


Abb. 200.



c. Der Einfluß der Querschnittänderung

auf das Endergebnis ist sehr gering. Man darf in den meisten Fällen mit einem unveränderlichen Querschnitt rechnen. δ_c ist dann die mittlere Bogenstärke

$$\delta_c = \frac{\delta_s + \delta_k}{2}.$$

In diesem Fall wird ferner

$$w_m = 1, \quad w_m' = 1 \dots$$

Ist der Bogen sehr flach, so muß man mit den n -fachen Höhen, also mit ny rechnen.

3. Der nur auf einer Hälfte mit p belastete Bogen (gefährlichste Laststellung).

Kombiniert man mit dem in 2. untersuchten Falle einer gleichförmig über den ganzen Bogen verteilten Last $\frac{p}{2}$ den in Abb. 201 skizzierten Fall des gewichtlos gedachten Bogens, der auf der linken Hälfte mit der gleichmäßig verteilten, nach unten wirkenden Last $\frac{p}{2}$, auf der rechten Hälfte mit nach oben wirkendem $\frac{p}{2}$ belastet wird, so ergibt sich die einsitige Belastung mit p . Es erübrigt, die Belastung nach Abb. 201 zu untersuchen.

a. Bestimmung von V_0 .

Für einen beliebigen Punkt der linken Bogenhälfte wird dann

$$\left. \begin{aligned} M_l &= V_0 x - \frac{1}{2} p \frac{x^2}{2}, \\ M_r &= -V_0 x + \frac{1}{2} p \frac{x^2}{2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (253)$$

für die rechte Hälfte

wo V_0 die Querkraft im Scheitel bedeutet und x vom Scheitel aus zu zählen ist.

Einen dieser Werte von M , z. B. M_l , setzt man nun in die dritte Elastizitätsgleichung (249) ein. Hieraus ergibt sich, wenn die Achsialkräfte vernachlässigt werden, mit Rücksicht auf

$$\int M_l x dw = \Sigma M_l x w$$

$$\text{der Wert} \quad V_0 = \frac{1}{4} p \frac{\Sigma x^3 w}{\Sigma x^2 w}.$$

Die Summen $\Sigma x^3 w$ und $\Sigma x^2 w$ werden ähnlich wie unter (2. b) durch Zeichnung ermittelt (Abb. 202 u. 203); hieraus ergibt sich

$$\Sigma x^3 w = w^3 p t,$$

$$\Sigma x^2 w = w^2 p u,$$

folglich $V_0 = \frac{p}{4} \frac{w_p t}{u}$, und da $\frac{d}{w_p} = \frac{t}{u}$
ist, wird $V_0 = \frac{p}{4} d$.

Abb. 201.

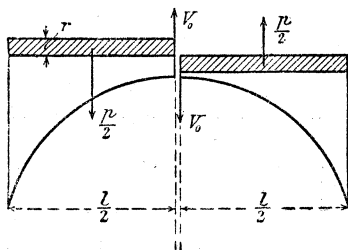


Abb. 202.

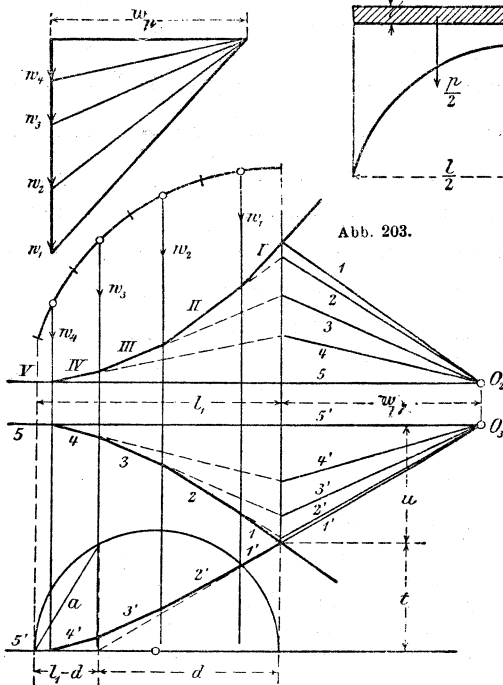


Abb. 203.

b. Darstellung der Momentenfläche.

Setzt man vorstehenden Wert V_0 in Gleichung 253 ein, so ist

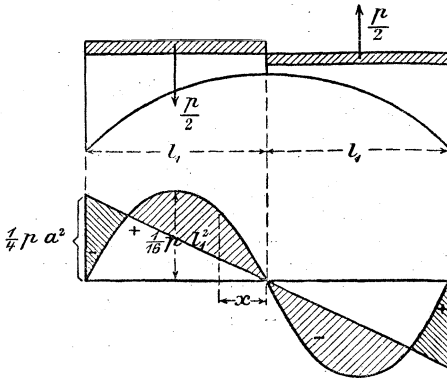
$$M_x^l = \frac{p}{4} x (d - x).$$

Für den Kämpfer wird $x = l_1$, also $M_k^l = -\frac{1}{4} p l_1 (l_1 - d)$,
 $M_k^r = -\frac{1}{4} p a^2$ (vgl. Abb. 204).

Für $x = \frac{l_1}{2}$ wird

$$M_x^l = -\frac{1}{16} p l_1^2 + \frac{1}{8} p l_1 d.$$

Abb. 204.



Die Momentenfläche für diese Belastung wird begrenzt von je einer Parabel über der halben Spannweite mit der Pfeilhöhe

$$h = \pm \frac{1}{16} p l_1^2$$

und einer Geraden, die in der Bogenmitte mit der Parabel zusammenfällt und am Kämpfer die Ordinaten $\mp \frac{1}{4} p a^2$ hat (Abb. 204). Das obere Vorzeichen gilt für die linke, das untere für die rechte Bogenhälfte.

Für $x = 0$, d. h. am Scheitel, wird das Moment $M_s = 0$.

4. Ermittlung der Spannungen.

a. Wenn die Kämpfer- und Scheitelmomente für die verschiedenen Belastungen berechnet sind, werden die **Beanspruchungen** bestimmt, u. zw., da $M_x = \Delta H y + M_x^l$ ist, nach der Formel

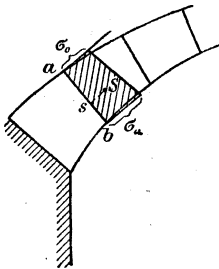
$$\sigma_x = \frac{N_n}{\delta} \pm \frac{6 M_x}{\delta^2}.$$

Hierin kann man noch, da der Unterschied sehr gering ist, N_n durch $N = H \sec \varphi$ ersetzen; dann wird

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_o \\ \sigma_u \end{array} \right\} = \frac{H \sec \varphi}{\delta} \pm \frac{6 M_x}{\delta^2}.$$

Mit Hilfe von σ_o und σ_u werden die Drucktrapeze eingezeichnet. Ihren Schwerpunkten S entsprechen jedesmal die Stützpunkte s (Abb. 205).

Abb. 205.



Wird ein Wert von σ negativ, so ist die Rechnung zu ändern, d. h. σ nach der Formel

$$\sigma = \frac{2 N}{3 \xi}$$

auszurechnen (vgl. S. 210). Hierin ist, wenn an Stelle von σ_o und σ_u die absolut genommenen Spannungen σ_1 und σ_2 gesetzt werden,

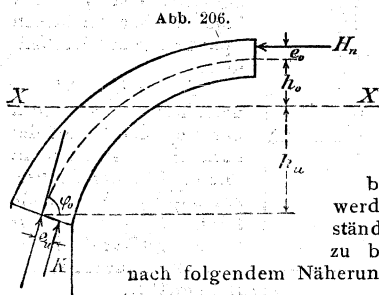
$$N = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \delta,$$

$$\xi = \frac{\sigma_1 + 2 \sigma_2}{3 (\sigma_1 + \sigma_2)} \delta,$$

$$\sigma = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)^2}{\sigma_1 + 2 \sigma_2}.$$

folglich

Die Stützlinie selbst wird also nicht gezeichnet. Es habe sich z. B. nach der ersten Formel für σ_0 und σ_u ergeben $\sigma_1 = 20 \text{ kg/qcm}$ und $\sigma_2 = -8 \text{ kg/qcm}$, dann wird mit Vernachlässigung der Zugspannungen nach der Formel



$$\sigma = \frac{2N}{3\xi} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)^2}{\sigma_1 + 2\sigma_2}:$$

$$\sigma_{\max} = \frac{(20 - 8)^2}{20 - 16} = 36 \text{ kg/qcm.}$$

b. Soll die **Stützlinie gezeichnet** werden, so sind noch die Abstände e_0 und e_u (Abb. 206 und 207) zu berechnen, u. zw. zweckmäßig

nach folgendem Näherungsverfahren.

$$M_s = \Delta H h_0 = H_n e_0,$$

folglich

$$e_0 = h_0 \frac{\Delta H}{H_n},$$

$$\Delta H = \mu H.$$

$$H_n = (1 - \mu) H.$$

$$e_0 = h_0 \frac{\mu}{1 - \mu}$$

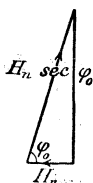
$$M_k = \Delta H h_u = H_n e_u \sec \varphi_0$$

$$e_u = \frac{\Delta H h_u \cos \varphi_0}{H_n}$$

$$e_u = h_u \frac{\mu}{1 - \mu} \cos \varphi_0,$$

$$\mu = \frac{\int dw'}{\frac{12}{\delta c^2} \int y^2 dw + \int dw' \cos^2 \varphi}$$

Abb. 207.



hierin ist

(vgl. Gleichung 251) und näherungsweise

$$\mu = \frac{\int dx}{\frac{12}{\delta c^2} \int y^2 dx + \int dx}$$

Hatten wir oben $\int y ds \frac{J_c}{J} = 0$ gesetzt, so wird jetzt $\int y dx = 0$, die Bogenachse also parabolisch gewählt.

$$h_0 = \frac{1}{3} f; \quad h_u = \frac{2}{3} f,$$

$$y = \frac{1}{3} f - f \frac{x^2}{(1/3 l)^2},$$

$$\mu = \frac{1}{\frac{16}{15} \frac{f^2}{\delta c^2} + 1},$$

$$\frac{\mu}{1 - \mu} = \frac{15}{16} \left(\frac{\delta c}{f} \right)^2.$$

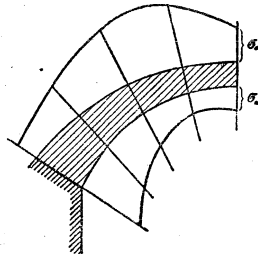
Man setze für flache Bogen

$$e_0 = \frac{5}{16} \frac{\delta c^3}{f}$$

$$e_u = 2 e_0 \cos \varphi_0.$$

c. Sind nach Absatz 2 und 3 die größten Momente der einzelnen Bogenquerschnitte berechnet und daraus nach 4. a. die Spannungen σ , und σ_u ermittelt, so läßt sich der **Spannungsverlauf** in anschaulicher Weise darstellen, indem man die betreffenden Fugen verlängert, auf ihnen von der äußeren und inneren Leibung die σ , bzw. σ_u abträgt und diese Punkte durch eine Kurve verbindet (Abb. 208).

Abb. 208.



D. Widerlager der Gewölbe.

Bedeutet (Abb. 209) in kg/m der Gewölbetiefe:

K den vom Gewölbe auf das Widerlager ausgeübten Druck,

G das Gewicht des unbelasteten Widerlagers,

R die Mittelkraft aus K und G ,

und zerlegt man R in N (winkelrecht zur Fuge SM) und in S (parallel zur Fuge SM), so muß sein

$$S \geq 0,7 N.$$

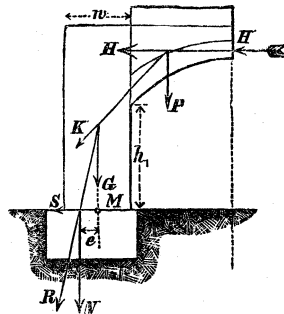
Bezeichnet e den Abstand des Angriffspunktes des Druckes R von dem Mittelpunkt M der Fuge SM in m, so ist die größte Druckspannung k des Mauerwerkes (vgl. I. Bd. Abschn. Festigkeitslehre, II).

$$\left. \begin{array}{l} \text{wenn } e < \frac{w}{6} \text{ ist, } \dots k = \frac{N}{w} \left(1 + \frac{6e}{w} \right) \text{ kg/qm,} \\ \text{wenn } e > \frac{w}{6} \text{ ist, } \dots k = \frac{2N}{3(0,5w - e)} \text{ kg/qm.} \end{array} \right\} \quad (254)$$

Dabei ist die Belastung des Gewölbes maßgebend, unter der die Werte N und e die Druckspannung k zu einem Maximum machen. In der Regel tritt dies ein, wenn etwa $\frac{1}{4}$ der Stützweite l des Gewölbes, u. zw. der dem Widerlager zugekehrte Teil, unbelastet ist. — Für die Größe der Fundamentsohle ist die zulässige Belastung des Baugrundes bestimmend (s. S. 230).

Soll der auf den Rücken des Widerlagers wirkende Erddruck berücksichtigt werden, so tritt an die Stelle von K die Mittelkraft aus K und dem Erddrucke E (der nach S. 200 u. f. zu bestimmen ist).

Abb. 209.



DRITTER ABSCHNITT.

GRUNDBAU.

A. Allgemeines.

1. Rammarbeiten.

Zum Eintreiben von Pfählen und Spundbohlen in den Boden verwendet man **Rammen**. (Bauart, Leistungen und Wahl der Rammen s. III. Bd. Abschn. Baumaschinen.

Bei loseren Bodenarten (Sand, Kies, Schlamm) werden Pfähle (insbesondere Spundbohlen) mit Vorteil durch **Einspülen mittels Druckwasser** in den Boden getrieben, häufig unter gleichzeitiger Belastung oder Rammung. Man erzielt dadurch: Zeitersparnis, Verwendung schwächerer Pfähle und Spundbohlen als beim ausschließlichen Rammen, leichtes Einrichten der Pfähle während des Eintreibens, geringe Erschütterungen. Der Betriebsdruck wird durch Anschluß an die städtische Wasserleitung oder durch hand- bzw. dampfgetriebene Druckpumpen erhalten.

Die **Tragfähigkeit von Pfählen** ist je nach der Tiefe des festen, erreichbaren Baugrundes infolge reiner Druckübertragung, Adhäsion der Pfahlausenwände oder Verbindung beider Wirkungen sehr verschieden; bei 25 bis 35 cm mittl. Dmr. etwa 20 bis höchstens 40 t pro Pfahl; bei Langpfählen Knickuntersuchung erforderlich. Wird der feste Baugrund nicht erreicht, so gibt bei annähernd unveränderten Bodenschichten die Brixsche Formel einigen Anhalt

$$P = \frac{h \cdot Q^2 \cdot q}{e(Q + q)^2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

wo P = der Grenzbelastung eines Pfahles, Q = Gewicht des Rammjärens, q = dem des Pfahles, alles in kg, h = Fallhöhe des Rammjärens in mm, e = beobachtete Eindringung des Pfahles beim letzten Schlag in mm ist. Als zulässige Belastung des Pfahles ist dann $p = \frac{1}{m} \cdot P$ einzuführen (m je nach Wichtigkeit = 8 bis 4).

Ist ferner T die ganze Tiefe, um welche der Pfahl eingerammt ist, und n die Zahl der hierzu erforderlichen Schläge, so ist

$$T = \frac{1}{m \cdot p} \frac{n \cdot h \cdot Q^2 \cdot q}{(Q + q)^2}; \quad \dots \dots \dots (2)$$

bei Anwendung einer Jungfer (Rammknecht) vom Gewicht q_1 ist

$$p = \frac{1}{m \cdot e_1} \frac{h \cdot Q^2 \cdot q \cdot q_1^2}{(Q + q_1)^2 (q_1 + q)^2} \dots (3)$$

worin e_1 das Eindringen des Pfahles für einen Schlag mit Jungfer bedeutet.

Diese Formelergebnisse sind für Lehm- und Tonboden mit Vorsicht aufzunehmen; bei diesen Bodenarten beträgt die Tragfähigkeit (aus dem reinen Reibungswiderstand) nach Versuchen von Hurtzig

$$P = -650 e + \sqrt{422500 e^2 + 1300 h Q}.$$

Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie vorher. Da der Boden überall verschieden ist, sind alle Formeln unsicher. Bei wichtigen Bauten sind Probepfähle einzuschlagen und die Ergebnisse der Formeln durch Probelastungen zu kontrollieren.

Sehr tief zu rammende Pfähle (Grundpfähle) werden, falls die Führung des Rammbaren sich nicht weiter verlängern läßt, mittels **Aufsetzer oder Jungfer**, insbesondere auch bei hohem Grundwasser, geschlagen; der Schlagverlust beträgt 10 bis 30 vH; der Preis von etwa 18,00 *M* pro cbm Holz bildet die Grenze, von wo statt der Rammung mittels Jungfer die Verwendung entsprechend längerer Pfähle nebst Abschneiden zweckmäßig wird. Zum Schutz des Pfahlkopfes dienen **Pfahlringe**, für Eisenbetonpfähle schmiedeiserne **Schlaghauben** mit Einlagen von Sägespänen oder Bleiplatten zusammen mit Hirnholzplatten. Zum Schutze der (3- oder 4 kantigen) Pfahlspitzen bzw. der keilförmig zugespitzten Spundbohlen werden bei festem Boden **eiserne Pfahlschuhe** angewendet, die jedoch die Kosten sehr erhöhen und von zweifelhaftem Nutzen sind. Ist die Verlängerung eines Pfahles durch Aufpfropfen unvermeidlich, so sind die beiden Hölzer durch ein Blech zu trennen und zu verlaschen bzw. durch einen Pfahlschuh zu umfassen.

Das **Abschneiden** der Pfähle und **Anschneiden** der Zapfen geschieht, da meist unter Wasser auszuführen, mittels Grundsägen.

Das **Ausziehen** der Pfähle kann geschehen:

1. mittels des Wuchtebaums, der an einem Ende mit einer kurzen Kette und Greifzange den Pfahl packt und am anderen Ende von den Arbeitern niedergezogen wird;

2. mittels Wagenwinden, insbesondere der amerikanischen Bauart (Union Track Jack genannt);

3. mittels hölzerner oder eiserner Schraubentöpfe, auch hydraulischer Pressen von festen Gerüsten oder von zwei Schiffen aus;

4. mittels Wasserauftrieb, durch Entfernung von Ballast (Aus-pumpen von Wasser) aus Leichtern, mit denen der Pfahl vorher fest verbunden wird (im Ebbe- und Flutgebiet durch die Flut);

5. mittels Dampfwinde und Flaschenzug;

Bemerkung zu 1 bis 5. Das Ausziehen der Pfähle, namentlich aus tonigem und moorigem Boden, wird erleichtert durch Schläge mit einem schweren Schlägel auf den Kopf des ausziehenden Pfahles.

6. mittels Sprengung.

Zur Beseitigung sonstiger Hindernisse unter Wasser dient u. a. der Greifbagger, die Steinzange oder Haken und Schlingen (zum Herausheben von Steinen), der Rammmeißel (zum Durchstoßen alter Buschpackungen und Hölzer), der Zentrums- und Röhrenbohrer (zum Entfernen von starken Baumstämmen) u. a. m.

2. Baggerarbeiten.

Für den Bodenaushub bei Grundwasser (bis auf rund 0,35 m Tiefe noch in gewöhnlicher Weise mit Schaufel) werden je nach der Wassertiefe **Hand-** oder **Maschinenbagger** erforderlich. Arten und Wahl der Bagger s. III. Bd. Abschn. Baumaschinen.

3. Vorrichtungen zum Wasserheben

s. Pumpen II. Bd. 2. Abschn. V.

4. Mauer- und Betonarbeiten.

Maschinen zur Erzeugung von Mörtel und Beton, Transportmittel s. III. Bd. Abschn. Baumaschinen.

Das **Einbringen des Betons im Trocknen** geschieht in Schichten von 15 bis 30 cm; Stampfen von Hand oder mittels Betonstampfmaschinen, seltener durch Walzen, bis die Oberfläche des vorher erdfeuchten Betons naß zu werden (zu schwitzen) beginnt. Das **Versenken des Betons unter Wasser** (Beton möglichst wenig Wasser geben) geschieht von festem oder schwimmendem Gerüst zweckmäßig aus eisernen oder hölzernen beweglichen Trichtern, die bis auf Fundamentsohle reichen und bei der Schüttung von mehreren Lagen Beton übereinander aus einzelnen abnehmbaren Stücken bestehen. Die Schüttung muß ohne längere Pausen vor sich gehen und der unten zweckmäßig schräg abgeschnittene, nach oben sich etwas verjüngende Trichter stets bis über Außenwasserstand gefüllt sein. Bei Schüttung einer Schicht empfiehlt es sich, die Schüttstreifen quer zur Längsachse des Fundaments zu legen, bei mehreren Schichten dagegen abwechselnd quer und parallel dazu.

Bei großen Wassertiefen und in sehr engen Baugruben ist es vorteilhafter, den Beton statt mittels schwer zu bewegender Trichter in geschlossenen Kästen oder halbzylindrischen eisernen Trommeln mittels Winden abzusenken, die sich unmittelbar über oder beim Aufstoßen auf den Boden selbsttätig oder durch eine Zugvorrichtung öffnen und entleeren; um das Ausspülen von Zement zu verhindern, kommen auch ganz geschlossene eiserne Kasten bis 0,75 cbm Inhalt zur Verwendung. Schüttungsoberfläche bei dieser Schüttweise weniger eben als bei Verwendung von Trichtern.

In kleinem Umfange wird Beton auch aus wasserdicht geteerten Säcken versenkt, die nach Öffnung des Verschlusses und Entleerung in der Baugrube wieder heraufgezogen werden, ebenso (in bewegtem Wasser) mittels wasserdurchlässiger Säcke (bis 30 t Inhalt), bei denen der durch den Stoff dringende Mörtel die Säcke zu einem einzigen Körper verbindet. Zur Herstellung großer zusammenhängender Betonmassen, die weder besonders dicht, noch besonders fest zu sein brauchen,

wird der mit möglichst wenig Wasser angesetzte Beton ohne Apparate, nicht frisch, sondern nach einigem Abbinden (3 bis 5 St) versenkt, so daß Strom und Wellenschlag den Zement nicht mehr ausspülen können, der Beton sich aber doch noch zu einer einheitlichen Masse zusammenschließt (Monolithsystem von Kinnipple). Unter der Betonschüttung noch eine Schicht trocknen Schotters einzubringen oder einzelne Löcher damit auszufüllen, ist fehlerhaft. Um schlammigen Boden zu befestigen, ist die unterste Schicht zementreicher anzusetzen. Soll Beton unter Wasser gestampft werden, so bewegt sich der Stampfer zweckmäßig in einer geschlossenen Röhre.

Das **Heben und Versetzen schwerer Werkstücke** geschieht mittels Steinklauen, Wolfs- und Steinzangen, das **Bewegen** zweckmäßig durch Steinwagen.

B. Baugrund.

Als **guten** Baugrund, auf dem große Bauwerke ohne weiteres gegründet werden dürfen, kann man bezeichnen:

1. Fels und festgelagerten lehmfreien Kies (als Sediment, nicht als Verwitterungsprodukt), wenn in etwa 3 m starker, wenig geneigter Schicht anstehend (jedoch Vorsicht bei untergelagerten Tonschichten wegen Rutschgefahr sowie bei Bergwerksnähe).

2. Sandschichten von mindestens 3 bis 4 m Mächtigkeit, wenn die sichere Lagerung nicht durch fließendes Wasser gestört wird (gegebenenfalls Senkung des Grundwassers).

3. Ton- und Lehmschichten bei wenig Wassergehalt und mindestens 3 bis 4 m Mächtigkeit; doch muß der Baugrund sorgfältig gegen Frost und Nässe, auch gegen zu große Austrocknung gesichert werden. Bei Hochbauten auf solchem Grunde sollte man das ganze Bauwerk mit einem wasserdichten Pflaster umgeben und alles Tagewasser von den Außenmauern ableiten. Bei **wechselnden** Schichten und geneigter Lagerung ist es im allgemeinen ratsam, nach Abraum der obersten Schicht auf die untere zu gründen, besonders wenn schwache Sandschichten über Ton- oder Lehmschichten liegen (Rutschgefahr bei seitlichen Kräften, z. B. bei Kai-, Stütz- und Futtermauern).

Als **wenig guter Baugrund** kann Ton- und Lehm Boden mit stärkerem Wassergehalt gelten; er weicht bei stärkerer Belastung wie eine zähe Flüssigkeit nach allen Seiten hin aus, dgl. wassergesättigter Sand bei sehr feinem Korn (Trieb sand), ferner nasser Sand mit Lehm und Ton gemischt. In letzterem Falle läßt sich der Baugrund durch Drainage tragfähiger machen. Bei starkem Wassergehalt ist stets künstliche Gründung, selbst bei großer Mächtigkeit erforderlich.

Als **schlechter Baugrund** ist Mutterboden, Schlamm und aufgeschütteter Boden zu bezeichnen; das Fundament ist bis auf den tragfähigen Grund hinabzuführen; gegebenenfalls genügt bei zu tiefer Lage desselben künstliche Befestigung oder Verdichtung des schlechten Baugrundes oder Verbreiterung der Sohle durch Sandschüttung, auch

Eisenbetonplatten unter ganzen Gebäuden. Betreffs Wahl der zweckmäßigsten Gründungsart s. S. 236.

Ueber die Ermittlung der Pressung auf den Baugrund s. III. Bd. S. 225; bei durchlässigem wasserhaltigen Boden ist der Auftrieb in Rechnung zu stellen. Die **Tragfähigkeit** des Baugrundes ist bei Felsgestein meist grösser als die des Mörtels (50 bis 100 kg/qcm). Die zulässige Beanspruchung k bleibt daher meist in den Grenzen 5 bis 15 kg/qcm. Bei festgelagertem Kies und Sand darf k zu 4 bis 5 kg/qcm genommen werden, bei Schraubenpfählen bis 8 kg und höher, bei festem Ton 4 kg, bei ruhender, d. h. nicht wechselnder Belastung bis 6 kg/qcm (Vorschrift der Berl. Baupol. $k = 2,5$ kg/qcm für **losen** Sand).

Die preussische Staatsbauverwaltung (Allg. Verf. d. W. B. V. Nr. 5, S. 25) schreibt vor:

1. Für mässigen Baugrund, feinen oder unreinen Sand $k = 2$ bis 3 kg/qcm;
2. Für guten Baugrund, festgelagerten Kies, groben Sand, festen Ton 3 bis 5 kg/qcm.

Allgemein sind grössere Beanspruchungen zulässig bei nach Grösse und Richtung nicht oder wenig wechselnder Belastung sowie bei grober und tief gelagerter Fundamentsohle. Für 1 qm Sohlfläche in einer Tiefe t unter der Oberfläche ist bei grobem Sand und Kies (Brückenpfeiler) die Tragfähigkeit in kg etwa

$$g_t = g_0 + 2190 \cdot t + \frac{3000 \cdot U}{G},$$

worin G = der Grundfläche des Fundaments (in qm) und U = dessen Umfang im Erdreich, g_0 = der Tragfähigkeit des Baugrundes an der Oberfläche (etwa 25 000 kg/qm) ist; für wichtige Fundamente sind zur Ermittlung von g_0 Probelastungen vorzunehmen. Beträgt die geringste Wassertiefe über der Sohle des Bodens t_w (in m), so ist ähnlich etwa

$$g_t = g_0 + 2190 \cdot t + 1000 \cdot t_w + \frac{3000 \cdot U}{G}.$$

Beachtenswert ist auch, daß nach Versuchen schlammiger Sand und selbst Schlamm, der gebaggert ohne meßbare Böschung auseinanderfloß, in grösserer Tiefe infolge des darauf lastenden Boden- und Wasserdruckes nicht unbeträchtliche Tragfähigkeit zeigte; ähnlich verhält sich Moor.

Nach Schwedler ist für kohäsionsloses, reibungsfähiges Material (Sand, Kies) bei konstanter Breite b der Grundfläche, unbegrenzter Länge unter Annahme senkrechter zentrischer Belastung die Tragkraft eines Flächenstücks von der Länge 1 gleich $G = b \cdot g = A \cdot b^2 \cdot \gamma + B \cdot b \cdot t \cdot \gamma$, wo die Koeffizienten

$$A = \frac{1 \cdot e^{3\rho\alpha}}{8 \sin^2 \alpha} \frac{e^{\frac{3\rho}{2} \frac{\pi}{2}} + e^{-3\rho \frac{\pi}{2}}}{3\rho + \frac{1}{3}\rho}$$

$$B = \frac{8}{3} \frac{e^{2\rho \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right)}}{\sin^2 \alpha}.$$

Darin bedeutet $\rho = \operatorname{tg} \varphi$ die Reibungsziffer des Bodens, $\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$, e = Basis der nat. Log., t = Gründungstiefe, γ = spez. Gew. des Bodens, G = Gesamtbelastung (Tragkraft), g = Grenzbelastung, bezogen auf die Flächeneinheit (Tragfähigkeit).

Allgemein sei betont, daß die Tragfähigkeit mit zunehmender Grundfläche wächst. Senkungen, sofern sie gleichmäßig am ganzen Bauwerke stattfinden, sind ohne Belang für die Standfestigkeit.

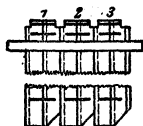
Die **Untersuchung** des Baugrundes geschieht am sichersten durch Aufgraben, bei größeren Tiefen durch Bohrer (Zylinder-, Löffel-, Ventilbohrer für weichere Bodenarten, Meißel-, Kreuz- oder Kronenbohrer für festere Bodenarten, Diamantkronenbohrer für Felsgestein bei Tiefbohrungen). Bohrungen mit Wasserspülung sind unzuverlässig.

Mindesttiefe der Fundamente gegen Auffrieren 0,8 bis 1,0 m (in Deutschland).

C. Einschließung, Abdämmung und Trockenlegung der Baugrube.

Bei geringen Tiefen (1,0 bis 1,25 m Druckhöhe des Bodens) durch Stülpwände, 2 Reihen Bretter 4 bis 5 cm stark, die Fugen gegenseitig deckend, oder Leitpfähle mit wagerecht (in Nuten) eingelegten Brettern. Bei Tiefen bis etwa 2 m unter Wasser genügt meist eine Bohlwand (bis 8 cm stark). Bei größeren Tiefen Spundwände mit rechteckiger oder keilförmiger Spundung. Bei Längen bis etwa 3 m 10 cm stark, für je 1 m Länge mehr rechnet man 2 cm größere Stärke; Breite der Bohlen 25 bis 35 cm; je 2 durch Klammern zusammengekuppelte Bohlen mit gemeinsamem Schlagring werden gleichzeitig eingerammt. Führung durch Zangen zwischen Bundpfählen.

Abb. 1.



Nach Möglichkeit soll so geschlagen werden, daß Nut auf Feder kommt, nicht umgekehrt; also Reihenfolge 1, 2, 3, siehe Abb. 1. Man vermeidet hierdurch das Absprengen der Wangen an der Nut durch eingeklemmten Boden. Um eine dichte Wand zu erzielen, treibt man die Bohlen gegeneinander an, indem man den Fuß schräg anschneidet, siehe Abb. 1. Zwischen den Zangen werden die Bohlen durch Winden zusammengezogen und angekeilt.

Um nicht übermäßig viel Holzverlust durch Spundung zu erleiden, macht man bei starken Spundwänden (> 15 cm) die Feder und Nut meist nur 4 bis 5 cm tief, während man bei geringerer Wandstärke die Nuttiefe und -breite bei rechteckiger Spundung $= \frac{d}{3}$ wählt. Auch werden besondere Hartholzfeder eingesetzt.

Abb. 2.



Bei sehr starken Bohlwänden verzichtet man oft auf die Spundung (Pfahlwand, s. Abb. 2). Die Dichtung erfolgt dann zweckmäßig, auch häufig bei Spundwänden, durch teergestrichenes Segeltuch. Bei starker Strömung und Wellenschlag in tiefem Wasser ist eine sichere Rammung, insbesondere von schwimmendem Gerüst, nur möglich, wenn eine ruhige Wasseroberfläche durch stromaufwärts geschlagene Pfahlreihen mit Faschinen dazwischen (schwimmende Wehre) geschaffen wird. Bei Rammarbeiten von festen Gerüsten aus empfiehlt sich in solchen Fällen die Absenkung eines Führungsgerüsts auf die Sohle des Flusses.

Spundwände aus **gusseisernen** profilierten **Platten** sind selten angewendet worden wegen der Schwierigkeiten beim Rammen. Dagegen kommen Spundwände, die aus **flußeisernen Walzprofilen**, vielfach auch besonderen Fassoneisen zusammengesetzt sind, immer mehr in Aufnahme. Gebräuchliche Profile siehe Abb. 3a, 3b, 3c (Profil Behrend). Eiserner Spundwände sind namentlich da zu empfehlen, wo

Abb. 3a.

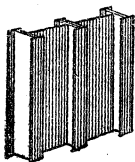


Abb. 3b.



Abb. 3c.



im Boden viel Hindernisse (große Steine) enthalten sind. Sie rammen sich leicht und werden deswegen auch in der Nähe von Gebäuden, um wenig Rammerschütterungen zu verursachen, angewendet. Die genieteten Profile haben den Vorteil, daß man die

Eisensorten überall bekommen kann, sind aber schwerer und meist nicht so dicht wie die besonderen Rammprofile.

Spundwände aus **Eisenbeton** kommen vorzüglich da zur Anwendung, wo die Spundwand später einen wesentlichen Teil des Fundaments bilden soll, sowie bei Seebauten, denen der Bohrwurm gefährlich werden kann. Die Konstruktionen sind vielfach Patente. Näheres Handb. f. Eisenbetonbau.

D. Berechnung von Bohlwerken und Verankerungen.

Nach Versuchen von Engels und Mohr. I. In trockenem Sande.

Fall 1. Pfahl von der Breite b , oben freistehend, am Kopfe durch Horizontalkraft H beansprucht; der Grenzzustand, bei dem Bewegung eintritt, bzw. das Mindestmaß der Rammtiefe t (ohne Sicherheit) ist bestimmt durch die Gleichung

$$t^3 \leq \frac{H \left(6 + 12 \frac{h}{t} \right)}{\gamma \cdot b \left[1 - \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}$$

wo φ = dem natürlichen Böschungswinkel, γ = Gewicht des trockenen Sandes in kg/cbm (s. Abb. 4).

Fall 2. Ist der Pfahl oben gestützt oder verankert (s. Abb. 5), so ist

$$t^3 \leq \frac{H (s - h)}{0,7b (s + 0,6t) \gamma \left[1 - \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}$$

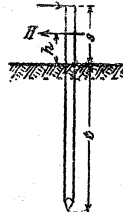
Für den am häufigsten vorkommenden

Fall 3. Bohlwerk mit Hinterfüllung, ist (s. Abb. 6) für das Verhältnis $n = \frac{h}{t}$ der Wert $n \geq 0,94$ oder $t \geq 1,06h$, wo $\gamma = 1600 \text{ kg/cbm}$,

Abb. 4.



Abb. 5.



$\varphi = 31^{\circ}9'$; wirkt noch eine Auflast, die einem Druck $q = \frac{E_q}{h}$ entspricht, wo h = Höhe des Hinterfüllungsbodens + reduzierter Auflast und E_q = dem Erddruck infolge Auflast, so ist der Grenzzustand des Gleichgewichtes bestimmt durch die Gleichung

$$q \cdot (1,5 + 6 \cdot n + 6 \cdot n^2) + 500 \cdot h \cdot (1 + 3 \cdot n + 2 \cdot n^2) \leq 1600 \cdot h - 1100 \cdot t.$$

II. In wassergesättigtem Sande läßt sich die Rammtiefe t für eine gerammte, auf N.-W. abgeschnittene und in A verankerte Spund-

Abb. 6.

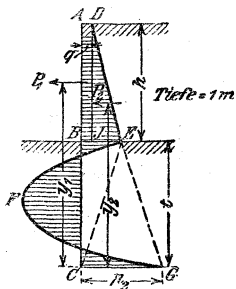
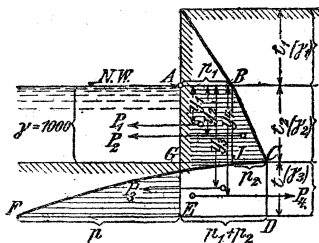


Abb. 7.



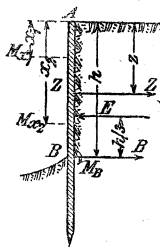
wand, sowie von A ab aufgeständerte, ebenfalls verankerte Bohlwand (s. Abb. 7) aus folgender Gleichung bestimmen (Gleichgewichtszustand!):

$$t_2^2 \left(\frac{p_1}{2} + \frac{p_2}{3} \right) = \frac{k t^3}{6} + \left[\frac{k t_2}{6} (3 + 2n) - \left(\frac{p_1 + p_2}{6} \right) \right] t^3 + \frac{t_2}{2} [k n \cdot t_2 - (p_1 + p_2)] t;$$

darin ist $p_1 = \gamma_1 t_1 \operatorname{tg}^2 \left(45^{\circ} - \frac{\varphi_1}{2} \right)$, $p_2 = (\gamma_2 - \gamma) t_2 \operatorname{tg}^2 \left(45^{\circ} - \frac{\varphi_2}{2} \right)$

$$p = k(t + n t_2); \quad k = \gamma_3 - \gamma_2 \operatorname{tg}^2 \left(45^{\circ} - \frac{\varphi_3}{2} \right), \quad n = \frac{\gamma}{\gamma_3}$$

Abb. 8.



γ = spez. Gew. des Wassers, γ_1 , γ_2 , γ_3 bzw. φ_1 , φ_2 , φ_3 = spez. Gew., bzw. natürlicher Böschungswinkel für den trockenen bzw. feuchten Hinterfüllungsboden oder Baugrund.

Für ein Bohlwerk, das bis oben mit Boden hinterfüllt ist (Auflast in der reduzierten Höhe h enthalten), ist die günstigste Lage der Verankerung für

einen Anker: (s. Abb. 8) im Abstände $0,472 \cdot h$ von oben; größtes Moment für die Bohlen $= 0,105 \cdot \frac{E \cdot h}{3}$,

der Zug Z in der Zugstange $= 0,565 \cdot E$, wo E = dem Erddruck, für

zwei Anker: (s. Abb. 9) im Abstände $0,707 \cdot h$ bzw. $0,334 \cdot h$ von oben; größtes Biegemoment $= 0,086 \cdot \frac{E \cdot h}{3}$, Ankerzüge $Z = 0,283 \cdot E$, $Y = 0,451 \cdot E$.

Dabei ist es fast belanglos, ob in B ein Gelenk anzunehmen ist (aufgeständerte Wand) oder nicht; nur der Ankerzug wird etwas größer: $Z = 0,635 E$ statt $0,565 E$.

Reicht die Bohl- oder Spundwand nicht aus, so kommen **Fangedämme** in Anwendung; in einfachster Form bei Wasserständen $< 1,5$ m eine durch Spitzpfähle (Abstand 1,25 bis 1,50 m) gehaltene Stülp-

Abb. 9.

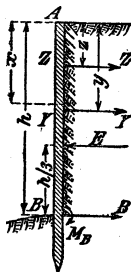


Abb. 10.

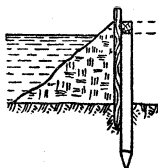
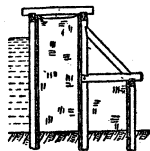


Abb. 11.



Bretter- oder Spundwand mit aufgezapftem Holm, gegen welche sich eine Erdschüttung (s. Abb. 10) aus möglichst wasserdichtem Boden (Ton, Klei, Gartenerde, Langstrohdünger, sandiger Lehm event. mit Gerberlohe gemischt) stützt. Wasserseitig wird die Schüttung gegen Abspülen durch Rasenbelag oder Spreutlage gesichert.

Bei starkem Wellenschlag, heftigen Strömungen und Wassertiefen $> 1,5$ m: Kastenfangedämme, 2 parallele Holzwände, von denen die innere bei Tiefen über 2 m als Spundwand, die äußere als Stülpwand ausgeführt wird. Bei größeren Tiefen sowohl innen wie außen Pfahl- oder Spundwände, die durch Zuganker (hochkant gestellte Flach-eisen, oben Holzzangen) verbunden sind, Rammtiefe der Fangedämme-pfähle und -Spundwände etwa gleich Wassertiefe. Bei großen Wassertiefen auch 3 Wände, von denen dann die innerste nur halb so hoch gemacht und durch Zangen und Streben gegen die mittlere abgesteift wird (Abb. 11). Größere Quellen, welche sich bei Fangedämmen mit Erdfüllung zeigen, sind möglichst von außen durch einen Kasten oder eine leichte Spundwand zu umfassen und mit Dichtungsmaterial zu verstopfen (Ton, Zementsäcke); bei vielen kleinen Quellen hilft häufig geteerte Leinwand.

Bei Gründungen auf Beton stellt man häufig die Fangedämme bis auf die Sohle aus Beton, etwa 1:7 bis 1:10, her und kann sie dann später zum Tragen des Bauwerkes mitbenutzen. Es ist hierbei der Schlamm aus dem Fangedamm zu entfernen, Schlammlöcher dürfen nicht mit Kies oder Schotter ausgefüllt werden. Die äußere Spund- oder Pfahlwand ist stärker und tiefer zu machen.

Statt Fangedämme werden auch geschlossene, abgedichtete kastenförmige Umhüllungen aus Eisen oder Holz abgesenkt, der Grund gegen

Ausspülen durch Steinschüttungen gesichert, vrgl. auch Senkkasten S. 245 u. f.

Die **Trockenlegung der Baugrube** erfolgt am besten durch Absenkung des Grundwasserstandes bis unter Fundamentsohle vor Aushub des Bodens, um Auflockerung des Bodens durch Quellen zu vermeiden. Quellen innerhalb der Baugrube sind durch Eisenrohre oder Holzkasten, die bis Aufsenwasserhöhe reichen, zu fassen und vorläufig einzumauern, das Wasser event. abzupumpen bzw. durch Heber (Gummischlauch) nach dem Pumpensumpf abziehen; später werden die Rohre mit Beton ausgefüllt, dem zweckmäfsig angerostete Eisenabfälle zur Erhöhung des Gewichtes beigemischt werden.

Bei einer wasserführenden Schicht aus sehr durchlässigem, grobem Gerölle, das von einer undurchlässigen Schicht überlagert ist, führt zweckmäfsig ein Drainagenetz den wenigen, aber gröfseren Sammelbrunnen aus Mauerwerk oder Beton, die innerhalb oder besser auferhalb der Baugrube abzusenken sind, das Wasser zu, von wo es abgepumpt wird; bei feinkörnigem, wasserführendem Boden (Triebssand) dagegen sind viele Brunnen dicht nebeneinander zu stellen; hierzu werden eiserne Rohrbrunnen verwendet, bestehend aus einem einzubohrenden, eisernen Mantel (etwa 20 cm Dmr.), der den eigentlichen Rohrbrunnen (etwa 15 cm Dmr.) umschliesst, dessen unterster Teil ein durchlöcherter, mehrfach von Kupfergeweben überzogener Kupferrohr (der Sauger) ist; in die Rohrbrunnen reichen die unten offenen Saugrohre von 10 m Länge hinein, die zur Pumpenleitung (bis zur Pumpe wegen Vermeidung von Luftansammlung etwas ansteigend) führen; bei sehr feinem Triebssand müssen die Brunnen zur Vermeidung der Versandung von Filtern aus Filz, Sägespänen oder Gerberlohe oder, wo sie von so langer Dauer sein sollen, dafs diese Stoffe etwa nicht genügen, aus Asbest umgeben werden.

In ähnlicher Weise lassen sich grofse, gemauerte Brunnen durch innerhalb derselben stets erheblich tiefer gehaltene eiserne Rohrbrunnen vollständig im Trocknen absenken.

Bei Kanalisationen ist häufig die Grundwasserableitung durch tönernerne Sickerrohre, die zu beiden Seiten der Betonsohlensteine im Kanalgefälle verlegt werden, empfehlenswert. Die Sickerrohre werden in den Muffen mit Heustricken umgeben und zum Einlaufs des Wassers mit Kies umschüttet.

E. Wahl der Gründungsart.

Für die Wahl der Gründungsart sind hauptsächlich folgende Gesichtspunkte maßgebend:

1. Wasser- und Bodenverhältnisse;
2. Zweck des Bauwerkes, Kosten der Gründung;
3. Beschaffenheit der Hilfsmittel und Baustoffe;
4. Die Zeit, die zur Herstellung des Fundaments zur Verfügung steht.

Nach den Gesichtspunkten 1. ergibt sich folgende Gruppierung der Gründungsarten:

	Boden in der Oberfläche fest.	Boden in erreichbarer Tiefe fest.	Fester Baugrund nicht erreichbar.	Bemerkungen.
Wasser nicht vorhanden.	Unmittelbares Aufmauern	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aufgraben bis z. festen Boden u. volles Mauerw. 2. Dsgl. und einzelne Pfeiler mit Erdbogen. 3. Senkkasten oder Senkbrunnen. 4. Bauweise Dulac. 5. Beton- u. Eisenbetonpfähle. 6. Eiserne Pfähle. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verbreiterung des Mauerw. 2. Sandschüttg. 3. Verkehrt. Gew. 4. Breite Betonlage. 5. Bauw. Dulac. 6. Trockene Steinpackung. 	Kein Holz zu verwenden.
Grundwasser oder offenes Wasser vorhanden, aber ausschöpfbar.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Unmittelbares Mauerw. 2. Einzel. Pfeiler mit Erdbogen. 3. Schwacher Beton zur Schließung von Quellen. 4. Hölzerne oder eiserne Fangedämme, im ganzen versenkt. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Senkbrunnen. 2. Tiefer Pfahlrost. 3. Eisenbeton und Betonpfähle. 4. Pfähle mit Beton oder Steinen dazwischen. 5. Beton nur z. Schließung von Quellen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sandschüttg. 2. Liegend. Rost. 3. Breite Betonlager mit Eiseneinlage. 4. Verkehrt. Gewölbe. 5. Bauw. Dulac. 6. Befestigung des Grundes durch gerammte Schotterlage oder kurze Pfähle. 7. Pfahlrost. 8. Eisenbeton- u. Betonpfähle. 	Holz unter Wasser zulässig. Wasserschöpfen, event. Abdämmung. Genaue Arbeit möglich. Steht das Wasser tief, so sind Eisenbetonpfähle den Holzpfählen vorzuziehen, weil am Fundament gespart werden kann
Wasser vorhanden, aber nicht auszuschöpfen.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Beton mit Umschließung durch Fangedämme von Holz oder Eisen, mit oder ohne Füllung. 2. Luftdruckgründung mit Benutzung von Fangedämmen vereinigt. 3. Senkbrunnen. 4. Senkkasten mit unterem Boden. 5. Steinschüttung od. Steinversenkung. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Senkbrunnen v. Holz, Stein oder Eisen. 2. Luftdruckgründung. 3. Eisenbetonpfähle. 4. Hoher Pfahlrost. 5. Eiserne Pfähle. 6. Ausbaggerung der Sohle und Beton. 7. Senkkasten mit Pfahlrost 8. Gefriergründg., mit und ohne Luftdruckgründg. (namentlich bei großen Tiefen). 9. Pfähle mit Beton oder Steinen. 10. Baggerung u. Steinschüttg. oder Steinversenkung. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pfahlrost zur Verdichtung d. Bodens, mit Senkkasten darauf. 2. Eisenbetonpfähle mit verbreitertem Fuße. 3. Senkkasten v. großer Breite als liegender Rost und hohles Fundament. 4. Sandschüttg. zur Verdrängung oder Verdichtung des nicht tragfähigen Grundes. 5. Belastung des Bodens umher und Verbreiterung des Mauerw. 	Holz unter Wasser zulässig. Genaue Arbeit nur bei der Luftdruck- und Gefriergründung möglich, bei den übrigen nur mit Hilfe von Tauchern.

Für den Fall 3, daß Wasser vorhanden, aber nicht entfernbar ist, gibt die folgende Tafel für einzelne Bodenarten und Gründungstiefen an, welche Gründungsart zweckmäßig ist, insbesondere, wann Luftdruckgründung vorzuziehen ist.

1. u. 2. Bodenklasse		3. Bodenklasse			4. Bodenklasse		5. Bodenkl.
$t \leq 4 \text{ m}$	$t > 4 \text{ m}$	$t \leq 4 \text{ m}$	$t \begin{matrix} > 4 \text{ m} \\ < 8 \text{ m} \end{matrix}$	$t > 8 \text{ m}$	$t \leq 6 \text{ m}$	$t > 6 \text{ m}$	
Beton- gründung mit u. ohne Pfahlrost. Brunnen- gründung	Brunnen- gründung	Beton- gründung mit u. ohne Pfahlrost Brunnen- gründung	Brunnengründung mit Luftdruckgründung	reine Luftdruck- gründung	Brunnen- und Luftdruck- gründung	reine Luftdruckgründung	reine Luftdruck- gründung

Die Verschiedenheit der Bodenklassen ist darin wie folgt zu verstehen:

Klasse 1: Ganz gleichmäßig gemischter Sand-, Lehm- oder Tonboden ohne nennenswerte Hindernisse;

„ 2: Boden mit vereinzelt Stein- und Holzstücken ohne besondere Gröfse;

„ 3: Dsgl., Boden, in welchem diese Hindernisse häufiger vorkommen;

„ 4: Dsgl., massenhaft, aber noch von geringer Gröfse;

„ 5: Dsgl., sehr häufig und von bedeutender Gröfse.

Brunnengründungen sind bei gutem Baugrunde stets billiger als Gründungen auf Beton mit oder ohne Pfahlrost. Die Grundfläche ersterer wird unter Ausnutzung der vollen Tragfähigkeit des Bodens bestimmt, während sie bei letzterer Ausführung, insbesondere der Spundwände wegen, wesentlich größer sein muß, als die Tragfähigkeit des Baugrundes es gestatten würde.

Ueber die Kosten ausgeführter Fundierungen vgl. Brennecke, Grundbau, 3. Aufl. S. 178 u. f.

F. Die wichtigsten Gründungsarten.

1. Gründung auf schlechtem Baugrund.

Ist der tragfähige Boden nicht erreichbar, so kann man schlechten Baugrund künstlich verdichten: durch Einschlagen kurzer Pfähle, Einrühren oder Einrammen von Schotter oder Bauschutt, Einspritzen von Zement, aufgebraute Lasten, Ausfüllen eingerammter Löcher mit Steinen oder Betonkörpern (Bauweise Dulac). Moorboden wird am besten nach vorheriger Drainage durch mehrfache Schüttungen (Stärke mindestens 0,8 m) von scharfem, nicht zu feinem Sand bei gleichzeitigem Einschlänmen verdichtet. Solche Boden können selbstredend nur unwichtige Bauwerke tragen.

Anderseits wird durch Verbreiterung des Fundaments durch Mauerbankette, Betonbettungen oder Fundamentplatten aus Eisenbeton unter Umständen über die ganze vom Bauwerk bedeckte Fläche die spezifische Bodenpressung herabgesetzt.

Liegender Rost, nur unter Grundwasser anwendbar; für Hochbauten, kleinere Brücken, Siele und Durchlässe unter hohen Dämmen bei nachgiebigem Boden zur Schaffung einer festen, ebenen, einheitlichen Grundlage für das Fundamentmauerwerk; Ausführung als **Bohlenrost** (aus Längs- und Querbohlen) oder **Schwellenrost** aus meist zu unterst liegenden Querschwellen (20 bis 30 cm stark, 1,0 bis 1,5 m Entfernung) und etwas stärkeren Längsschwellen (0,5 bis 1,0 m entfernt), welche 5 bis 6 cm tief aufgekämmt sind; Abdeckung des Rostes durch Bohlen (8 bis 10 cm stark) mit verwechselten Stößen über den Querschwellen; die Zwischenräume zwischen den Hölzern sind mit Tonschlag oder besser Magerbeton auszustampfen.

Einzelne Fundamenteile eines zusammenhängenden Bauwerkes werden zur möglichst gleichmäßigen Verteilung des Druckes und Vermeidung von Rissen durch **umgekehrte Gewölbe** miteinander verbunden. Ohne Schwellenrost angewendet, werden dieselben Erdbogen genannt; der bequemerer Ausführung halber wird unter ihnen eine schwache, durchgehende Magerbeton- oder Schotter- bzw. Kiesschicht gestampft.

Form und Stärke umgekehrter Fundamentbögen ergeben sich nach Koenen etwa aus folgenden Formeln: für die Gewölbstärke im Scheitel

$$d_0 = \frac{l^3}{4 K \left(\arccos \frac{z_1}{z_0} \right)^2},$$

wo l = Spannweite des Bogens, z_0 = dem gleichmäßig verteilten Gegen-
druck für die Tiefe l bezogen auf die Längeneinheit der waggerchten
X-Achse (s. Abb. 12), K = zulässige Druckbelastung des Mauerwerks;

die Gewölbstärke an beliebiger Stelle ist dann $d = \frac{d_0}{\cos \alpha}$, wo α
= dem spitzen Winkel der Tangente im Bogenpunkt gegen die
X-Achse; ferner ist der Krümmungsradius im Scheitel

$$\varrho_0 = \frac{l^3}{4 \cdot z_0 \left(\arccos \frac{z_1}{z_0} \right)^2}$$

und an beliebiger Stelle für gleichm. verteilte Last $q = \frac{\varrho_0}{\cos^3 \alpha}$.

Abb. 12.

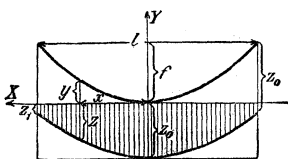
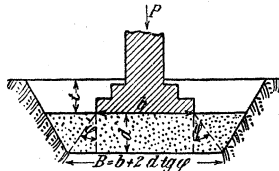


Abb. 13.



Die notwendige Stärke von **Sandschüttungen** ergibt sich, wenn für eine bestimmte Last P die zulässige Beanspruchung k eines Baugrundes nicht überschritten werden soll, aus der Gleichung

$$k = \frac{P}{b + 2 d \operatorname{tg} \varphi} + \gamma (d + t);$$

Bezeichnungen s. Abb. 13, φ = natürlicher Böschungswinkel, γ = dem Gewicht von 1 cbm Sand, bzw. Hinterfüllungserde, bzw. Fundament-mauerwerk im Durchschnitt. Dabei ist zu nehmen

für Sandschüttungen ganz über Grundwasser $\varphi = 40^\circ$, $\gamma = 1800$
 „ „ „ unter „ $\varphi = 24^\circ$, $\gamma = 2000$.

Der Sand wird in Lagen von etwa 15 cm Stärke eingebracht, eingeschlämmt und gestampft.

2. Gründungen auf Beton unter Wasser

sollen oft nicht nur fest, sondern auch gegen Wasserzudrang dicht sein. Bei Versenkung des Betons mittels Trichter ist zweckmäßig die Sohle nicht in Einzellagen, sondern gleich in voller Stärke derart zu schütten, daß mehrere Trichter sich unmittelbar folgen, von denen jeder um eine Lage, 40 bis 60 cm, höher schüttet, so daß also der folgende stets um die Stärke der Lage kürzer ist. Der Auftrieb gegen die Sohle ist je nach der Durchlässigkeit des Bodens = der vollen Druckhöhe der Wassersäule bis $\frac{1}{4}$ derselben, gerechnet von der Sohle bis Wasserspiegel, zu nehmen; auf die Verminderung des Wasserdruckes durch Spundwände, die den Beton in der Regel umgeben, ist, selbst wenn sie mit den Spitzen festen Ton erreichen, der Sicherheit halber nicht zu rechnen. Die Druckverminderung (infolge Adhäsion und Reibung des Wassers im Boden sowie infolge der Druckflächenverkleinerung) ist bei wichtigen Bauwerken durch Versuche festzustellen.

Ein geringer Zusatz von Lehm (bis höchstens 30 vH) zu grobem Sandboden, der bei mehr als 0,4 mm Korngröße sehr wasserdurchlässig ist, vermindert die Durchlässigkeit (bis zur völligen Dichtung) ganz bedeutend. Dagegen wird bei Schleusen häufig der volle Auftrieb auf Unterwasserhöhe absichtlich durch eine Schüttung aus grobem Sand unter und neben der Sohle zu ihrer Entlastung herbeigeführt, während die Sohle gegen das Oberwasser stets möglichst dicht abzuschließen ist.

Besteht ein Fundament aus Sohle und Seitenwänden (Schleuse, Dock), so tritt bei nachgiebigem Untergrunde außer der Beanspruchung durch den Wasserdruck noch die Biegebungsbeanspruchung infolge des stärkeren Setzens der schweren Seitenwände hinzu. Durch Einzeichnen der höchsten und tiefsten Drucklinien bei vollgefülltem bzw. leerem Becken und ungünstig gewählten Außenwasserständen erkennt man den günstigen Einfluss ungleicher Verteilung der Reaktion gegen die Sohle, der erreicht wird durch Pfahlrost unter den Seitenwänden oder Lockierung bzw. geringere Befestigung des Baugrundes zur Mitte hin (weniger gut); am günstigsten ist es jedoch, beim Bau die Sohle nicht einheitlich durchzuführen, sondern erst die Seitenwände (häufig mittels Druckluftgründung) fertigzustellen, danach den mittleren Teil der Sohle einzufügen und schließlich die Seitenwände mit Boden zu hinterfüllen (vgl. Brennecke, Grundbau, 3. Aufl. S. 220 u. f. und H. d. I. W. III, Schiffsschleusen).

3. Gründungen auf Pfahlrost.

Man unterscheidet solche auf **hohem** und solche auf **niedrigem Pfahlrost**; erstere reichen häufig noch über den niedrigsten Wasserstand hinaus, während bei letzteren die Pfähle kurz oberhalb des Grundes abgeschnitten sind. Entfernung der Pfähle 0,75 bis 1,25 m, u. zw. an den stärker belasteten Teilen dichter; Dicke in m etwa $= 0,15 + 0,0275 l$, bei hohem Pfahlrost Knickuntersuchungen. Der Bohlenbelag (8 bis 10 cm stark) wird durch Holz- oder Eisennägel auf den Holmen befestigt und letztere auf die Pfähle aufgezapft. Die Stöße der Rostschwellen (meist 20/25 bis 25/30 cm stark) ordnet man gegeneinander versetzt an meist stumpf auf den Pfahlköpfen mit Sicherung durch Eisenlaschen. Quer zu den Rostschwellen liegen die mit ihnen verkämmten oder verblatteten **Zangen** (etwa 15/20 cm stark) in 2,5 bis 3 m Entfernung. Die Mittelfkraft aus Erddruck und Mauergewicht muß im mittleren Drittel der Grundfuge bleiben, damit ein Lüften an keiner Stelle möglich ist.

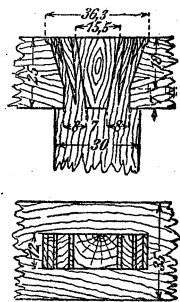
Hohe Pfahlroste umgibt man häufig mit Spundwänden, die außer zur Wasserhaltung während des Baues auch zum Tragen mitbenutzt werden.

Bei niedrigem Pfahlrost müssen wegen des Auftriebes die Verbindungen zwischen Belag, Holmen und Pfählen, insbesondere bei den auf Pfahlrost gegründeten Schleusenkammern mit hölzernen Böden sehr widerstandsfähig sein. Rostschwellen, auch Grund- oder Kleischwellen genannt (quer zur Schleuse) werden auf den Pfählen durch eiserne Bügel oder dadurch befestigt, daß die Zapfen der Pfähle durch die ganze Schwellendicke reichen und von oben durch Eichenkeile auseinandergetrieben werden (Abb. 14); Schleusenböden benötigen besonders dichten Anschluß an die Spundwände, namentlich an die Querspundwände unter dem Drempeel des Oberhauptes. Der Bohlenbelag ist wasserdicht herzustellen, daher keine rissigen Bohlen. Unter dem Bohlenbelag wird ein 0,6 bis 1,0 m starker Tonschlag in mehreren Schichten eingebracht und festgestampft. Der Belag soll fest an den Tonschlag anschließen.

Vielfach werden bei Kaimauern nach vorheriger Trockenlegung der Baugrube die 0,3 bis 0,5 m über dem Grunde abgeschnittenen Pfähle direkt in ein Betonfundament eingestampft. Ist die Trockenlegung nicht möglich, so wird die Baugrube durch Spundwände eingeschlossen und der Beton zwischen und über dem Rost unter Wasser geschüttet (wie bei Betonfundamenten); auf Holme, Zangen und Belag wird dann verzichtet, so daß sich gleich auf der häufig durch Eisen- einlagen verstärkten Betonplatte das Mauerwerk aufsetzt.

Die Untersuchung der Standfestigkeit von Bauwerken auf Pfahlrost hat zu erweisen

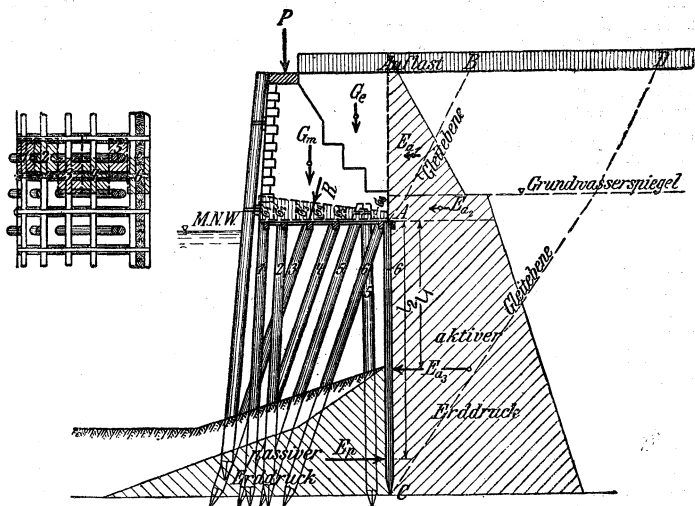
Abb. 14.



1. daß die zulässige Pfahlbelastung nicht überschritten wird;
2. daß der Pfahlrost die auftretenden horizontalen Kräfte (Erddruck, Gewölbeschub) aufnehmen kann;
3. sind die Spundwände (bei Kaimauern) unter dem Einfluß des Erddruckes auf Biegung und Standsicherheit zu untersuchen.

Zu 1. Zunächst wird die auf einen Pfahl entfallende senkrechte Last ermittelt, indem die dem betreffenden Pfahl entsprechende Grundfläche des Rostes festgestellt wird. In den meisten Fällen genügt es, die Abstände zwischen den einzelnen Pfählen zu halbieren. Aus dem Spannungsdiagramm der Grundfuge des Mauerwerks ist sodann die Druckbeanspruchung für jeden Flächenteil zu entnehmen. Das

Abb. 15.



Produkt ergibt die senkrechte Druckbelastung der einzelnen Pfähle (vgl. Abb. 15), z. B. für Pfahl 1: $P_1 = \text{Fläche 1} \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$.

Ist das Bauwerk wechselndem horizontalen Schub ausgesetzt, so ist das Diagramm unter Einfluß des größten und geringsten Schubes zu ermitteln, um die ungünstigste Belastung zu bekommen (z. B. Bauwerk vor und nach der Hinterfüllung). Die Ermittlung der Belastung von Schrägpfehlern s. unter 2.

Die Tragfähigkeit eines gerammten Pfahles ist bestimmt a) durch seinen Widerstand gegen Eintreiben in den Boden; b) durch die zulässige Druckbeanspruchung des Holzes; c) durch die Knicksicherheit. Zu a) vgl. S. 226. Die zulässige Druckbeanspruchung (Kiefer 60 kg/qcm)

wird selten erreicht. Für Knickuntersuchung kommt in der Regel Fall 2, I. Bd. S. 533, in Betracht. Danach ist

$$J_{\text{erford.}} = 83,3 P l^3,$$

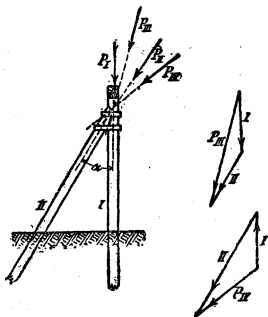
worin P in t , l in m , J in cm^4 die übliche Bedeutung haben.

Zu 2. Bei geringem Horizontalschub und niedrigem Pfahlrost werden meist nur senkrechte Pfähle angeordnet. Es ist dann zu untersuchen, ob der Rost in schlechtem Baugrund (Moor, weicher Ton, Schwimmsand) nicht verschoben wird (wandert). Allgemein gültige Regeln lassen sich darüber nicht aufstellen, es sind Versuche von Fall zu Fall nötig.

Bei großem Schub und hohem Rost sind Schrägpfähle bzw. Pfahlböcke erforderlich. Pfahlböcke sind zwei an den Köpfen zugfest miteinander verbundene Pfähle (Abb. 16). Wirkt die resultierende Druckkraft in der Richtung eines der beiden Pfähle, so ist im anderen Pfahle die Spannung $= 0$. Liegt sie im Winkel α (P_{III}), so ergibt sich die Druckzerlegung aus dem Kräfteplan (Abb. 17), liegt sie außerhalb α (P_{IV}), so entsteht in einem Pfahle Zug (Abb. 18). Nach Brennecke können Pfähle $\frac{5}{8}$ bis $\frac{3}{4}$ ihrer Tragfähigkeit an Zug aufnehmen. Doch sind bei größeren Bauten Versuche ratsam.

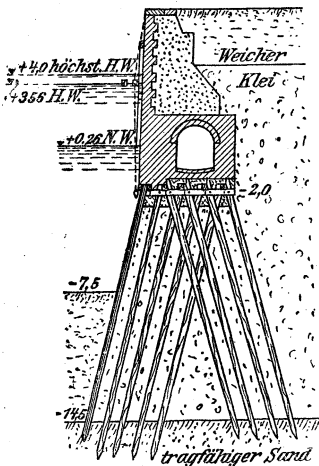
Schrägpfähle sollen so viel Horizontalschub aufnehmen, daß die Mittelkraft mit der nach I. ermittelten senkrechten Belastung in die Pfahlrichtung fällt. Sonst treten Bieungsbeanspruchungen auf. Daher sind Ausführungen, die nur parallel gerichtete Schrägpfähle enthalten, nicht ratsam, denn der Horizontalschub läßt sich in der Regel nicht genau ermitteln und ist oft nicht einmal konstant (z. B. Kai-mauern mit wechselndem Grundwasserstand im Ebbe- und Flutgebiet). Eine so fundierte Mauer kann sich unter der Wirkung ihres Gewichtes unter Umständen nach hinten neigen, wenn die Hinterfüllung ausweicht. Dies tritt häufig bei schadhafte oder undichten Spundwänden ein. Reicht Zahl und Neigung der Schrägpfähle nicht aus, um den Horizontalschub aufzunehmen, so werden die Pfähle in der Richtung des Schubes auf Biegung beansprucht und der Rost kann sich nach vorn neigen. Es müssen also so viel Schrägpfähle angeordnet werden, wie der errechnete Horizontalschub erfordert. Daneben aber sind auch senkrechte Pfähle erforderlich, von denen zweckmäßig einige mit Schrägpfählen zugfest zu Pfahlböcken vereinigt werden (Hamburger Bauart, Abb. 15). In Bremerhaven hat man statt der senkrechten Pfähle Schrägpfähle mit umgekehrter Neigung verwendet (Abb. 19). Das hat jedoch den Nachteil, daß man auch die Spundwand in der Pfahlneigung schlagen muß.

Abb. 16, 17 u. 18.



Der Horizontalschub, den der Pfahlrost einer Kaimauer aufzunehmen hat, setzt sich zusammen aus dem Erddruck, der auf die eigentliche Mauer entfällt, und dem horizontalen Auflagerdruck der Spundwand.

Abb. 19.



Den Schrägpfählen wird so viel Horizontalschub zugefügt, daß ihre Mittelkraft mit der senkrechten Last in die Pfahlrichtung fällt. Der Rest wird den Pfahlböcken zugeschrieben. Bei der Bauart nach Abb. 19 verteilt man den Horizontalschub auf die einzelnen Böcke ihrer senkrechten Belastung entsprechend und ermittelt durch Kräfteplan die Zerlegung in die Pfahlrichtungen.

Zu 3. Spundwände, die einseitigem Erddruck ausgesetzt sind, müssen auf Biegung und Sicherheit gegen Gleiten des Fußes untersucht werden. Hierbei ist der aktive und passive Erddruck (Abb. 15) bis zur Spitze der Spundwand zu ermitteln.

Die Momentengleichung in bezug auf das Widerlager der Spundwand gegen den Rost $\bar{E}_p \cdot l_2 - \bar{E}_a \cdot l_1 > 0$ gibt den Nachweis gegen Gleiten des Fußes, bzw. die erforderliche Rammtiefe der Spundwand.

Es zeigt sich, daß bei einer großen Zahl ausgeführter Kaimauern diese Bedingung nicht erfüllt ist, und daß die Spundwände trotzdem stehen. Bezeichnet η das Verhältnis des passiven Erddrucks, der erforderlich wäre, um dem in üblicher Weise ermittelten aktiven Erddruck das Gleichgewicht zu halten, zu dem theoretisch ermittelten passiven Erddruck, so müßte $\eta \geq 1$ sein. Ehlers*) hat jedoch an 10 durchaus standsicheren Hamburger Kaimauern einen Koeffizienten η von 1,5 bis 3,7 nachgerechnet. Die Erklärung für diesen Widerspruch zwischen Theorie und Wirklichkeit dürfte vor allem in zu ungünstigen Werten von E_a und E_p zu suchen sein.

E_a ist tatsächlich kleiner, denn es liegt hier der Fall vor, daß, unbedingte Standsicherheit des Rostes und der Mauer vorausgesetzt, bei einem Nachgeben der Spundwand der darauf lastende trapezförmige Erddruckkörper zwischen zwei Gleitflächen AB und CD (Abb. 15) liegt. Nach Ehlers und Möller, Braunschweig, treten alsdann infolge der Kohäsion der Erdteilchen gewölbeartige Verspreizungen zwischen den beiden Gleitflächen auf. Andererseits ist E_p infolge der auf dem passiven Gleitkörper ruhenden Last des Pfahlrostes wesentlich größer anzunehmen, als theoretisch ermittelt. Man kann also in solchen Fällen unbedenklich den passiven Erddruck mit $\eta = 1,5$ bis 2,0 multiplizieren, wenn E_a in der bisher üblichen Weise ermittelt ist.

$E_a - E_p \cdot \eta = H$ (vgl. Abb. 20) liefert den horizontalen Widerlagerdruck der Spundwand, der vom Rost aufzunehmen ist.

Auf Biegung berechnet man die Spundwand als einseitig eingespannten Balken, an dessen freiem Ende der aktive Erddruck und die Reaktion H des Rostes angreifen (Abb. 20).

*) Z. f. Arch.- u. Ing.-Wes., Hannover 1910.

M_{\max} ergibt sich im Abstände x , das aus der Querkraftgleichung

$$H = b \cdot x + \frac{\varepsilon \cdot x \cdot x}{2}$$

ermittelt wird, zu

$$M_{\max} = H \cdot x - \frac{b \cdot x^2}{2} - \varepsilon \cdot \frac{x^2}{2} \cdot \frac{x}{3}.$$

Darin ist $\varepsilon = \frac{b^1}{h}$ (vgl. Abb. 20).

Dient die Spundwand zugleich als tragender Teil des Rostes, so ist die größte Druckspannung

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} + \frac{P}{F}.$$

(W = Widerstandsmoment, $\frac{P}{F}$ = Druckbeanspruchung infolge senkrechter Belastung.)

Auch hier zeigt sich, daß bei ausgeführten Kaimauern theoretisch der übliche Sicherheitsgrad weit überschritten ist, ungeachtet der Standsicherheit der Bauwerke. Ehlers berechnet an den genannten Hamburger Kaimauern Biegungsspannungen bis 438 kg/qcm. Es ist sicher anzunehmen, daß diese Spannungen nicht auftreten, da der aktive Erddruck, wie oben gesagt, in Wirklichkeit geringer ist. Da es sich außerdem um eine ruhende, gleichmäßige Belastung handelt, so kann man bei ständig unter Wasser befindlichen Spundwänden und Berechnung des Erddruckes in der üblichen Weise unbedenklich Biegungsbeanspruchungen bis 200 kg/qcm zulassen.

Anstatt durch Schrägpfähle kann der Horizontalschub auf einen Rost auch durch rückwärtige Verankerungen aufgenommen werden. Manchmal können hierzu die Fundamente bereits bestehender Bauwerke benutzt werden, wenn dieselben außerhalb des Gleitkörpers des aktiven Erddruckes liegen. Sonst werden besondere Ankerböcke (Abb. 21) (namentlich zur nachträglichen Verstärkung bestehender Ausführungen) gerammt. Statt gewöhnlicher Pfähle werden zu den Böcken auch Schraubenpfähle genommen, die eine wesentlich höhere Zug- und Druckwirkung haben. Statt der Böcke werden zur Verankerung auch eingegrabene Betonklötze oder Holztäfelchen verwendet.

Bei Seebauten schützt man die Pfähle gegen den Bohrwurm durch einen Mantel von Tonrohren (Zwischenraum mit Mörtel ausgefüllt), Gufseisen- oder Monierrohren, ferner durch Bekleidung der vordersten Pfahlreihe an der Wasserseite mit Eisenbetonplatten, durch Benageln der Pfähle mit Kupfer- oder Bleiblech, auch dicht an dicht mit kupfernen Nägeln, schließ-lich (mit nur teilweise Erfolg) durch Imprägnieren mit Kreosot. Am widerstandsfähigsten ist Grünholz (greenheart) und das australische Jarrahholz. Am besten Ersatz durch **Beton- und Eisenbetonpfähle**, die auch unabhängig vom Grundwasserstand bzw. N.-W.-Stand sind und leicht verlängert werden können. Betonpfähle werden jetzt meist dadurch hergestellt, daß in den Boden eingeschaubte, eingespülte oder

Abb. 20.

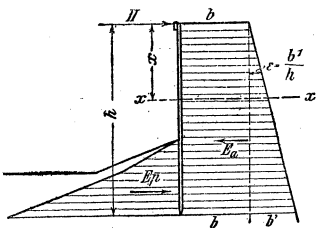


Abb. 21.



mittels eines herausziehbaren Eisenkerns eingerammte, sich nach unten hin leicht verjüngende Eisenblechrohre mit Beton ausgefüllt werden; das Rohr wird entweder während des Stampfens allmählich herausgezogen oder bleibt im Boden stecken. Verbreiteter sind Eisenbetonpfähle, die gegen Bieungsbeanspruchungen Rundeiseneinlagen (bis 30 mm Dmr.) dicht unter den Außenflächen erhalten. Die Eisen werden durch Bügel untereinander verbunden, durch Schweissung unten zu einer Spitze vereinigt. Derartige Pfähle können ähnlich wie die Betonpfähle im Boden hergestellt werden (amerikanische Simplexpfähle); sorgfältiger ist aber die Herstellung vor dem Gebrauch in senkrecht oder horizontal gelegenen Kästen (erstes besser, aber schwieriger und meist teurer); Querschnitt rechteckig, seltener rund (Herstellung teuer); häufig mit eingestampftem Spülrohr und besonderer gufseiserner oder schmiedeeiserner Pfahlspitze. Das Eintreiben der Pfähle wird bei reinem Sand und Kies durch Einspülen sehr beschleunigt. Zugpfähle erhalten am unteren Ende zur Vergrößerung der Reibung Einkerbungen und konische Wulste. (Näheres über Eisenbetonpfähle s. Handb. f. Eisenbetonbau von F. v. Emperger, 3. Bd., Grundbau.)

Für provisorische Gerüste, Landungsbrücken, Leuchtturm- und Leuchtbakenfundierungen, Bojen, aber auch für Brückenpfeiler (besonders bei Fundamentvergrößerung) sind sehr zweckmäfsig **Schraubenpfähle** oder hölzerne Pfähle mit **Schraubenschuh** (jetzt seltener), die den Vorzug der Billigkeit mit dem der schnellen und leichten Herstellung und Beseitigung (ohne Erschütterungen!) verbinden; Schraubenpfähle bestehen aus der gufseisernen oder gufsstählernen Schraube, als besonderes Stück angefertigt und meist mit einem kleinen Vorschneider versehen, und dem Pfahl aus Holz (durch Nut und Feder mit der Schraube befestigt) bzw. gufseisernen Muffenrohren mit verschraubten Stößen. Die Form der Schraube (bis zu 2 m Dmr.), Steigung und Gangzahl ändert sich je nach der Bodenart; viele Umgänge für feste, steinige Bodenarten, für weiche dagegen meist nur ein Gang mit großem Gewindedurchmesser. Hohle Pfähle mit unten offenem Ende sind leichter niederzubringen, da der Boden innen aufsteigen kann; in scharfem Sand und Kies wird das Einschrauben noch durch Druckwasserspülung auf die obere Schraubenfläche erleichtert.

Von anderen, seltener benutzten Pfahlsystemen sind zu nennen: die Scheibenpfähle, gufseiserne, durch Druckwasser eingespülte Rohre, mit einer unten angegossenen oder angeschraubten Scheibe mit Loch in der Mitte, und Spitzpfähle, gufseiserne oder schmiedeeiserne Rohre mit einer Spitze aus verstähltem Schmiedeeisen, durch Rammen oder Wasserspülung eingetrieben; nur dann ein zweckmäfsiger Ersatz der Holzpfähle, wenn bis auf den festen Fels hinabgetrieben, da die Last durch die Spitze übertragen werden soll.

4. Senkkasten und Schwimmpfeiler mit unterem Boden.

Man versteht darunter wasserdichte Kasten aus Holz, Eisen, Eisenbeton oder Mauerwerk bzw. aus Kombinationen dieser Baustoffe. Besteht der Kasten aus Holz oder Eisen, so dient er nur als Fangkasten, in dessen Schutz das Mauerwerk ausgeführt wird, und dessen Seitenwände nach Fertigstellung desselben entfernt und wieder verwendet

werden, während der Boden des Kastens unter dem Mauerkörper verbleibt. Besteht der Kasten aus Beton, Eisenbeton oder Mauerwerk, so bildet er selbst einen Teil des Fundamentkörpers und wird nach oder während der Versenkung ausgemauert oder auf andere Weise ausgefüllt.

Der Baugrund für den Kasten wird unter Wasser vorbereitet, d. h. durch Baggerung vertieft, eingeebnet, vielfach auch mit einer Schotter-, Kies- oder Betonlage abgeglichen. Das Einebnen gestaltet sich bei Sandboden noch am einfachsten, namentlich wenn sich die Baugrube in stillem Wasser befindet. Lehm- und Tonboden wird zweckmäßig erst durch eine Kiesschicht abgeglichen. Das Einebnen geschieht vielfach in der Weise, daß man eine schwere Eisenbahnschiene über die Sohle schleppt. Will man den Kasten vor Unterspülung schützen, so wird um die Baugrube eine Spundwand gerammt, die auf der Unterwasserseite zum Einbringen des Schwimmkastens zunächst offen bleibt.

Statt auf den natürlichen Baugrund können Senkkasten auch auf Pfahlrost gesetzt werden. Dabei ist ein Haupterfordernis, daß die Pfähle alle in gleicher Höhe abgeschnitten sind, damit der Kasten gleichmäßig aufrucht. Man verwendet dazu am besten die Kreis-segmentsäge, die möglichst auf festem Gerüst montiert wird. Eine Befestigung des Kastens auf den Pfahlköpfen erfolgt nicht.

Die Herstellung der Kasten geschieht auf Gerüsten über Wasser, häufiger auf Hellingen, bei sehr großen Abmessungen am besten in provisorischen Trockendocks. Die Kasten werden schwimmend zur Verwendungsstelle gebracht und durch Ausführung des Mauerwerks bzw. Ausfüllung, seltener durch künstliche Beschwerung zur Versenkung gebracht.

Der Vorteil dieser Gründungsart ist neben ihrer Einfachheit ihre Billigkeit und schnelle Ausführung. Sie kann jedoch nur angewendet werden, wenn brauchbarer Baugrund in geringer Tiefe vorhanden ist. Ihr Hauptnachteil besteht darin, daß es bei aller Sorgfalt der Abgleichung des Baugrundes nicht zu vermeiden ist, daß sich die Kasten ungleichmäßig setzen. Man wird sie deshalb bei Gründungen, bei denen dies nicht statthaft ist, wie z. B. bei Brückenpfeilern, namentlich aber bei Drehbrücken und kontinuierlichen Trägern, kaum noch in Zukunft verwenden. Wohl aber finden sie häufige Verwendung beim Bau von Kaimauern und Molen. Näheres Brennecke, Grundbau S. 280 u. f. und speziell Senkkasten aus Eisenbeton: Handb. f. Eisenbetonbau von F. v. Emperger, Bd. 3, Grundbau.

5. Brunnengründung.

Ein hohler, oben und unten offener Körper von beliebiger Grundrissform wird bis auf den tragfähigen Baugrund abgesenkt, indem die darüberliegenden, nicht tragfähigen Schichten im Inneren des Brunnens entfernt werden. Der Brunnen wird alsdann mit Beton, Mauerwerk oder Steinen ausgefüllt. Wo die Bewältigung des Wassers im Inneren des Brunnens möglich ist, sodaß die Entfernung des Bodens im Trocknen erfolgen kann, läßt sich diese Gründungsart bis zu den größten Tiefen anwenden. Andernfalls empfiehlt sie sich nur, wenn keine Hindernisse, wie große Steine, Felsspitzen,

Baumstämme, Baureste usf., zu erwarten sind, also nur in Moor-, Schlamm- und gleichmäßigem Sandboden. Jedenfalls empfiehlt es sich, bei allen größeren Brunnengründungen einen Taucherapparat und andere Geräte vorrätig zu halten, um Hindernisse rasch beseitigen zu können.

a. Brunnen aus Mauerwerk, Beton und Eisenbeton.

Als Unterlage für die gemauerten Brunnen dienen **Brunnenschlinge** oder **-kränze** aus Holz, meistens Eisen. Des besseren Absenkens wegen erhalten die Kränze Dreieckform im Querschnitt, hölzerne Kränze außerdem häufig eine besondere Schneide aus Eisen (Abb. 22).

Abb. 22.

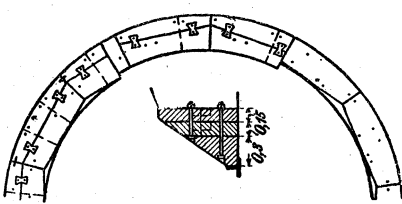
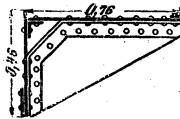


Abb. 23.



Eiserne Kränze werden meist aus Flusseisenblech und -winkeln, seltener aus Gufseisen hergestellt. Gebräuchliche Querschnitte s. Abb. 23 u. 24.

Die beste **Grundrissform** für ein bequemes und gleichmäßiges Senken des Brunnens ist der Kreis, weil solche Brunnen im Verhältnis zur Grundfläche die geringste Mantel-, also Reibungsfläche besitzen und sich am gleichmäßigsten senken, wenn das Baggergerät in der Mitte arbeitet. Kreisrunde Brunnen drehen sich jedoch häufig etwas beim Senken. Wo das mit Rücksicht auf einen oben eckig geformten Teil des Brunnens vermieden werden muß, empfiehlt es sich, die kreisrunde Form frühzeitig in eine dem aufgehenden Mauerwerk angepaßte überzuführen, um die senkrechte Führung zu sichern (Abb. 25).

Abb. 25.

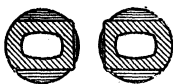
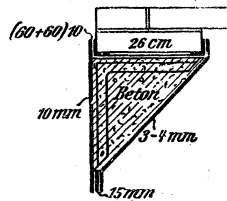


Abb. 24.



Die Gestalt des Bauwerks macht es häufig wünschenswert, von der Kreisform abzuweichen. So werden vielfach aus Kreisen oder Rechtecken zusammengesetzte Formen angewendet. Die Entscheidung, ob man ein zusammenhängendes, enggeschlossenes oder ein aus einzelnen allein stehenden runden Brunnen gebildetes Fundament wählt, richtet sich in erster Linie nach dem Baugrund und den zulässigen Bodenpressungen. In der Regel bildet man das Fundament aus mehreren kleineren Brunnen, die oben durch Ueberkragen oder durch zwischengeschlagene Bogen zu einem gemeinsamen Fundament vereinigt werden

(Abb. 26). Hat man die Wahl zwischen einer größeren Zahl kleiner oder einer geringeren Zahl größerer Brunnen, so ist die letztere Anordnung vorzuziehen.

Ein einheitliches Fundament bietet den Vorteil, dafs sich das fertige Bauwerk gleichmäfsiger setzt, doch mufs das Versenken vorsichtiger ausgeführt werden als bei mehreren runden Brunnen, damit bei grofsen zusammengesetzten Brunnen infolge ungleichmäfsigen Ausgrabens bzw. Baggerns nicht Risse im Brunnen entstehen. Auch ist ein solches Fundament meist teurer, weil es mehr Mauer- masse enthält.

Man wähle daher einen grofsen einheitlichen Brunnen:

1. In weicheren, namentlich ungleichmäfsig festen Erdarten;

2. wenn der Körper des aufgehenden Mauerwerks aus irgend- welchen Gründen bereits unter Wasser zu einem Ganzen vereinigt werden soll.

Dagegen empfehlen sich mehrere runde Brunnen in den übrigen, also weitaus meisten Fällen, und zwar namentlich:

1. Da, wo ein fester Baugrund unter weichen Erdarten liegt;

2. bei grofsen Wassertiefen, wenn von einem Gerüst aus gesenkt werden mufs;

3. für Bauwerke, welche auf das Fundament einen schrägen Druck ausüben, um die Standsicherheit zu erhöhen.

Im allgemeinen vermeide man es, den Brunnen recht- oder spitz- winklige Ecken zu geben, weil die Ecken hängen bleiben und dann viel Boden unter den Wänden von aufsen eindringt.

Bei Brunnen, die durch unmittelbares Ausgraben gesenkt werden können, treten diese Uebelstände nicht ein.

Wenn Brunnen zur Fundierung von Hochbauten benutzt werden, so ordnet man sie zweckmäfsig unter Pfeilern und Ecken an (Abb. 27).

Da die Brunnen sich um so besser senken lassen, je schwerer sie sind, so mache man die **Brunnenwände** so stark, wie es die bequeme Ausführung der Baggararbeiten bzw. die Arbeiten des Ausgrabens gestatten. In der Regel stellt sich das Ringmauerwerk nicht wesentlich teurer als das Füllmauerwerk. Um das Senken zu erleichtern, sind die Aufsenflächen durch Anbringen eines fetten Putzes oder wenigstens durch gutes Ausstreichen der Fugen möglichst glatt zu machen. Aus demselben Grunde zieht man die Wände nach oben hin ein, und zwar entweder, soweit sie in den Grund versenkt werden, gleichmäfsig oder nur im unteren Teil (Abb. 26). Die letztere Anordnung ist weniger zu empfehlen als die erste.

Die Ausfüllung der Brunnen erfolgt durch Mauerwerk, Beton oder auch nur durch Steinbrocken, Kies und scharfen Sand. Das Ein- bringen des Betons auf die Brunnensohle mufs vielfach unter Wasser ge-

Abb. 26.

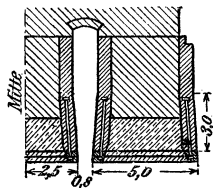
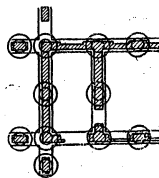


Abb. 27.

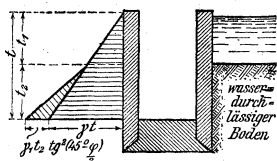


schehen. Will man später auspumpen, so soll die Sohle mit Rücksicht auf den Auftrieb etwa die halbe Höhe des Wasserdruckes in der Brunnensohle haben.

Brunnen in **Eisenbeton** sind mit kreisrundem Grundriss seltener ausgeführt worden, weil schon das zum Senken erforderliche Gewicht die Ausführung starker Wände zweckmäßig macht, so daß Eisen-
einlagen zur Erzielung größerer Festigkeit nicht erforderlich sind.

Bei Brunnen mit geraden Wänden hingegen ist die Anwendung von Eisen-
einlagen zu empfehlen.*)

Abb. 28.



anspruchungen der Wände
gepumpt sind,

Es bezeichne:

- δ die Wandstärke in m,
- r den inneren Radius kreisrunder Brunnen,
- k die zulässige Druckbeanspruchung des Mauerwerks in t/qm,
- t bzw. t_1 und t_2 die in Abb. 28 ersichtlichen Tiefen der untersuchten Zone unter Wasserspiegel bzw. Erdoberkante in m,
- γ das Gewicht des Wassers = 1 t/cbm,
- $\gamma_1 = \gamma$ das Gewicht von 1 cbm Boden unter Wasser,
- φ den natürlichen Böschungswinkel,
- l bei geradseitigen Brunnen die größte Seitenlänge im Lichten des Brunnens gemessen in m.

Die erforderliche Mindestwandstärke bei geradseitigen Brunnen ergibt sich, wenn man die Seitenwand als Balken auf zwei Stützen berechnet, zu

$$\delta = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{3\gamma}{k} \left[t + t_2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}.$$

Für kreisrunde Brunnen ergibt sich nach der Laméschen Formel für Rohre mit äußerem Druck

$$\delta = r \left(-1 + \sqrt{\frac{k}{k - 2p}} \right),$$

worin p der größte äußere Druck auf die Flächeneinheit gleich $\gamma t + \gamma t_2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ ist.

b. Eiserne Senkbrunnen.

Gufseiserne Brunnen werden in einzelnen Ringen hergestellt, die in den zusammengeschraubten Stößen durch Gummieinlagen, geteerten Hanf oder Filz gedichtet werden. Gufseiserne Brunnen bekommen leicht Risse, wenn sie bedeutendem Temperaturwechsel ausgesetzt sind.

Brunnen aus Walzeisen werden aus Blechen hergestellt, die innen durch Walzprofile, meist L-Eisen, ausgesteift sind. Die Versenkung erfolgt wie bei gemauerten Brunnen durch Ausbaggern oder Ausgraben.

*) Näheres über Brunnen aus Eisenbeton s. Handb. f. Eisenbetonbau von F. v. Emperger. Bd. 3.

Eiserne Brunnen haben gegenüber gemauerten Brunnen den Vorzug größerer Leichtigkeit, infolge deren sie sich bequem fort-schaffen und schnell zusammensetzen lassen, sowie größerer Wider-stands-fähigkeit gegen Wellenschlag und Strömungen. Ihre Nachteile sind dagegen:

1. der hohe Preis des Materials;
2. die Notwendigkeit einer großen Belastung für die Versenkung;
3. die Zerstörbarkeit durch Rost, bei gußeisernen auch durch Temperaturwechsel.

Die Anwendung eiserner Brunnen empfiehlt sich daher haupt-sächlich:

1. bei Seebauten, sowie überall, wo der hohe Preis durch den Vorteil, welchen die Möglichkeit schnellster Ausführung bietet, über-wogen wird;

2. für Bauausführungen, bei denen die Beschaffung von Ziegel-steinen Schwierigkeiten bereitet, namentlich aber in entlegenen Gegenden, wo es an geeigneten Arbeitskräften zum Mauern fehlt. Aus diesem Grunde sind sie mehrfach von englischen Ingenieuren bei kolonialen Bauten (Indien, Australien) angewendet worden.

Das Gewicht flusseiserner Brunnen von runder Grundrißform ergibt sich, wenn die Blechstärken nach der Laméschen Formel (S. 249) berechnet werden bei Annahme wasserdurchlässigen Bodens, d. i. neben dem Erddruck voller Wasserdruck, zu

$$G = 0,012 \, dt \left[1,125 + d \left(0,000125 \sqrt[3]{t} + \sqrt{\frac{k}{k - 0,001 \, t}} - 1 \right) \right],$$

worin

d = Durchmesser in cm,

t = Tiefe des Brunnens in cm,

k = zulässige Beanspruchung des Materials auf Druck in kg/qcm.

Für gußeiserne Brunnen ergibt sich ebenso

$$G = 0,012 \, dt \left[2,3 + d \left(0,00018 \sqrt[3]{t} + \sqrt{\frac{k}{k - 0,0014 \, t}} - 1 \right) \right].$$

Vgl. Brennecke, Grundbau, 3. Aufl. S. 327.

c. Hölzerne Senkbrunnen

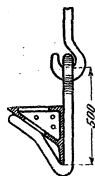
(vielfach Senkkasten genannt) finden manchmal bei Hochbauten Ver-wendung. Sie bestehen aus meist vertikal stehenden Bohlen von 5 bis 7 cm Stärke, die innen entsprechend ausgesteift werden. Um sie zu versenken, ist eine starke Beschwerung erforderlich. Die Grundrißform ist beliebig, kreisförmig oder eckig. Sollen sie leergepumpt werden, so müssen die Bohlen kalfatert werden.

d. Das Senken der Brunnen

auf dem Lande geschieht in der Weise, daß man zunächst eine Bau-grube bis zum Grundwasserspiegel herstellt, dann den Brunnenkranz verlegt und mit der Aufmauerung beginnt. Daran schließt sich das Ausgraben bzw. Ausbaggern. Bei Gründungen im Wasser von geringer

Tiefe und Strömung schüttet man häufig erst eine kleine Sandinsel, auf der man den Kranz ohne eine Rüstung verlegen kann. Bei größerer Tiefe und starker Strömung ist man auf feststehende oder schwimmende Rüstungen angewiesen. Wenn möglich, werden feststehende Rüstungen angewendet. Schwimmende Rüstungen sind vorteilhaft bei sehr großen Wassertiefen und da, wo viele Brunnen zu senken sind. Im letzteren Falle kann man dann wesentlich an Zeit und Rüstungen sparen.

Abb. 29.



Der Brunnen wird am Kranze aufgehängt (Abb. 29) und mittels Flaschenzügen oder Schraubenspindeln nach vollzogener Aufmauerung zunächst bis zur Sohle gesenkt. Alsdann beginnt das Ausbaggern und allmähliche Weiterversenken.

Die Kosten einer Brunnengründung wachsen erheblich mit der Tiefe, weil mit wachsender Reibung die Belastung gesteigert werden muß und infolge größeren Erddruckes mehr Boden unter der Schneide des Kranzes in den Brunnen dringt, dieser außerdem höher gehoben werden muß. Einen wesentlichen Einfluß aber haben schon verhältnismäßig leichte Hindernisse auf Zeit und Kosten, während große Hindernisse die Absenkung ganz vereiteln können. Es ist daher eine allgemein brauchbare Formel für die Kosten einer Brunnengründung nicht zu gewinnen. Brennecke gibt im „Grundbau“, 3. Aufl., die Kosten einiger ausgeführten Gründungen. Mit Rücksicht auf die schwierige und zeitraubende Behebung von Hindernissen bei der Versenkung muß vor der Anwendung der reinen Brunnengründung bei unklaren Bodenverhältnissen gewarnt werden.

6. Luftdruckgründung.

Die Eigenart der Luftdruckgründung besteht darin, daß das Wasser vom Arbeitsort durch Luftdruck ferngehalten wird. Man unterscheidet zwei Arten der Gründung:

1. Gründung mit **Senkkasten (Caisson)**;
2. **Taucherglockengründung.**

Bei der Senkkastengründung bildet der versenkte Hohlkörper später selbst einen Teil des Fundaments, während die Taucherglocke nur dazu dient, um in ihrem Schutze das Fundament herstellen zu lassen.

Der Verkehr zwischen der verdichteten Luft und der Außenluft wird durch **Luftscheulen** vermittelt.

a. Die Senkkastengründung

entspricht der Brunnengründung, mit dem Unterschiede, daß der Arbeitsraum, Senkkasten, luftdicht gegen die Außenluft abgesperrt und mit Preßluft gefüllt wird. Wenn die Luftscheulen, wie meist üblich, sich über dem Wasserspiegel befinden, so liegt zwischen ihnen und dem Senkkasten ein eiserner Rohrschacht, der ebenfalls unter Preßluft steht.

Die **Senkkasten** älterer Gründungen sind durchweg aus Eisen konstruiert. Sie besitzen einen eisernen Mantel, eine eiserne Decke des Arbeitsraumes nebst dem erforderlichen Trägerwerk. Die Schneide (Kranz) wird aus eisernen dreieckigen Konsolen gebildet (Abb. 30).

Abb. 30.



Um die Kosten der Senkkasten zu verringern, ist bei neueren Konstruktionen der Eisenverbrauch wesentlich durch Ausbildung gewölbter Arbeitsräume und durch Weglassen des Mantelbleches eingeschränkt worden (Gründung der Lauenburger Elbbrücke, Abb. 31, 32, 33.)

Abb. 31.

Abb. 32.

Für die Beibehaltung der Mantelbleche sprechen folgende Vorteile:

1. die Reibung im Boden wird verringert, daher leichteres Senken;
2. ergewährt Sicherheit gegen Reißen des Mauerkörpers;
3. er kann zugleich als Fangkasten dienen, wodurch man mit dem Mauerwerk unabhängig von der abgesenkten Tiefe ist und das Gewicht des Senkkörpers regulieren kann.

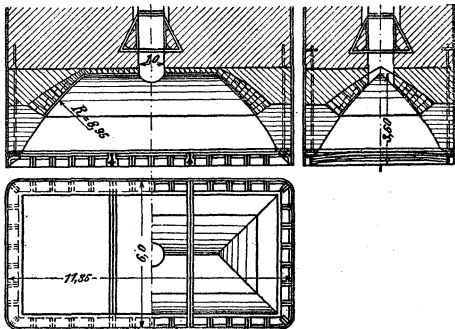


Abb. 33.

Zu 1. Dieser Vorteil wird in fast gleichem Maße erreicht durch einen glatten Zementputz oder guten Fugenausstrich. Auch kann man dem Pfeiler einen Anlauf wie bei Brunnen geben.

Zu 2. Bei tiefen Gründungen in wechselnden Bodenschichten sind Längsverankerungen im aufgehenden Mauerwerk meist ein ausreichender Ersatz für den Mantel.

Zu 3. Bei großen Wassertiefen sowie bei starkem Flutwechsel ist die Anwendung eines Mantels, der über der Sohle des Bodens später wieder entfernt werden kann, zu erwägen.

In den meisten Fällen aber wird man den Eisenmantel entbehren können, da seine Kosten in keinem Verhältnis zu den erreichbaren Vorteilen stehen.

Die eiserne Decke nebst Deckenträgern wird man bei kleineren Pfeilern immer entbehren können. Bei sehr großen Senkkasten, Trockendocks, dagegen ist ein eisernes Deckentragwerk erforderlich. Die Querträger werden als Eisenfachwerk ausgebildet. Auch werden große Senkkasten durch Zwischenwände, die bis auf die Sohle reichen und der Decke eine feste Unterstützung gewähren, zweckmäßig in einzelne Arbeitskammern zerlegt. Die Schneide des Kranzes wird in

den meisten Fällen aus Eisen bestehen. Ausnahmen bei schlammigem Boden, wo wenig Hindernisse zu erwarten sind. In diesem Falle empfiehlt sich stumpfe Schneide aus Mauerwerk oder Beton, um plötzliches Einsinken und Gefährdung der Arbeiter zu vermeiden.

Die gemauerten Senkkasten mit eisernem Gerippe oder eisernen Ankeren sind die Vorläufer der **Senkkasten aus Eisenbeton**, die im Auslande bereits mehrfach, in Deutschland, dem Vaterlande der gemauerten Senkkasten, noch wenig Anwendung fanden. Gerade für Senkkasten ist der Eisenbeton ein vorzügliches Material, weil es sich bei diesen nur um eine Haltbarkeit für kurze Dauer handelt, das Durchrosten der Eiseneinlagen an gerissenen Stellen also nicht zu fürchten ist.

Kleine Senkkasten hat man auch bereits nur aus Beton ohne Eiseneinlagen hergestellt.

Hölzerne Senkkasten werden vielfach in Amerika und in anderen Ländern, wo die Holzpreise niedrig sind, angewendet. Wo 1 cbm Holz nicht viel mehr kostet als 1 cbm Mauerwerk sind sie besonders bei Baugrund von geringer Tragfähigkeit nützlich. Man macht dann die Decke des Senkkastens so stark, daß ein großer Teil des Fundamentes aus Holz anstatt aus Mauerwerk besteht. Anwendbar nur unter Grundwasser. Wegen der Feuergefährlichkeit kleidet man die Arbeitsräume mit dünnem Blech aus.

b. Luftschleusen und Fördermittel

sollen bei möglichster Einfachheit und geringem Gewicht unbedingt betriebssicher und leistungsfähig sein. Fast jede größere Unternehmung hat eigene Konstruktionen.

Die Mehrzahl der Konstruktionen zeigen die Luftschleuse auf einem Schachtrohre, das bis über Hochwasserspiegel reicht; bei einigen amerikanischen Ausführungen ist die Schleuse unmittelbar im oder dicht über dem Senkkasten.

Vorteile der tiefen Lage sind:

1. Das Verlängern der Schachtrohre bedingt keine Betriebsunterbrechung.

2. Das beschwerliche Aufsteigen in verdichteter Luft fällt fort.

3. Es wird an Preislust gespart. Undichte Stellen des Schachtes haben keinen Einfluß.

Dagegen Nachteile:

1. Luftschleuse oben ist von der besonderen Gestalt des Pfeilers bzw. des aufgehenden Mauerwerks unabhängig und läßt sich bei anderen Gründungen ohne weiteres wieder verwenden.

2. Luftschleuse im Senkkasten ist bei plötzlichen Setzungen (in schlammigem Boden) gefährdet.

3. Luftschleuse über der Decke des Senkkastens macht doppelte Fördervorrichtungen nötig, da das Material zweimal gehoben werden muß.

Im allgemeinen wird daher die hohe Lage der Schleuse zu bevorzugen sein.

Die **Förderung** erfolgt meist durch Kübel, die neuerdings häufig durch Winde mit elektrischem Antrieb gehoben werden, seltener durch Vertikalbagger. Bagger in unten und oben offenem Schacht, wie sie bei Kehl u. a. verwendet wurden, sind unbedingt zu verwerfen. Um das Ausschleusen der Aushubmassen zu umgehen, hat man auch **Wasserstrahlpumpen** nach Art der Ejektoren angewendet. Die Erfolge sind abhängig von den Bodenarten und der Geschicklichkeit der Arbeiter. Empfehlenswert ist diese Förderart nur bei feinem Sand- oder Schlamm Boden. Doch hat man in solchem Falle noch bessere Resultate erzielt durch Ausblasen des Bodens mit Prefsluft (Gründung der East River-Brücke, Lauenburger Elbbrücke, vrgl. Brennecke, Grundbau S. 407).

Die Gestalt der Schleuse entspricht der Förderart. Um die Prefsluftverluste beim Aus- und Einschleusen möglichst zu verringern, werden neben der Hauptkammer vielfach Materialkammern vorgesehen, die besonders verschließbar sind und vor der Ausschleusung bis oben hin gefüllt werden. Bei großem Betrieb empfehlen sich zwei solcher Kammern, um Unterbrechungen zu vermeiden. *)

Nach Beendigung des Aushubes werden die Schleusen zur Förderung von Beton, Mörtel, Steinen eingerichtet. Luftschleuse nach Brennecke, bei welcher dieselben Materialienbehälter sowohl zum Ausschleusen von Boden als auch (durch Drehung um 180°) zum Einschleusen von Beton dienen. Zum Einschleusen des Betons wird vielfach ein besonderer Betontrichter eingebaut, der nach Füllung und Einlassen der Prefsluft sich direkt in den Schacht entleert. Diese einfachste Art der Betoneinschleusung hat den Nachteil, daß beim Abstürzen die gleichmäßige Durchmischung des Betons verloren geht, indem sich Steine und Kies vom Mörtel trennen. Auch trocknet der Beton in der hohen Temperatur der Schleuse bei langsamem Betrieb etwas aus. Will man diese Nachteile vermeiden, so verwendet man die etwas umständlichere Art des Einschleusens und Abförderns in geschlossenen Kübeln.

Bei kleinem Betrieb dienen die Materialschleusen auch als Personenschleusen. Bei großen Ausführungen ordnet man zweckmäßig besondere Personenschleusen an.

Die **statische Untersuchung** der Luftschleusen erfolgt wie die der Dampfkessel, siehe II. Bd. 1. Abschn. Nach den Grundsätzen, die von der Deleg.- u. Ing.-Vers. d. Verb. d. Dampfkessel-Ueberw.-Ver. am 6. und 7. Juli 1884 zu Brüssel aufgestellt worden sind, wird für Luftschleusen verlangt.

1. Blechstärke unter Berücksichtigung der Nietnaht muß mindestens 5-fache Sicherheit gewährleisten, aus praktischen Gründen soll sie mindestens 7 mm betragen.
2. Für die Festigkeitsziffern der verwendeten Bleche sind die Würzburger Normen der Dampfkessel-Ueberw.-Ver. maßgebend.

3. Die Scherkraft der Niete muß mindestens gleich der Zugfestigkeit in der Nietnaht sein.

4. Aus Gründen der Dauerhaftigkeit ist zur errechneten Blechstärke ein Zuschlag von 3 mm zu geben.

Danach ergibt sich für Schleusenmantel und Schachtrohre

$$\delta = \frac{2500 D \cdot p}{K \cdot Z} + 3 \quad \dots \dots \dots (1)$$

*) Konstruktionen von Brennecke, Zschokke, Benkiser (Philipp Holzmann) usw., siehe Brennecke, Grundbau, 3. Aufl. S. 383 u. f.

worin

 δ = Blechstärke in mm, D = Durchmesser der Schleuse in m p = Ueberdruck in at; K = Zugfestigkeit in kg/qmm Z = Anzahl der Prozente der Blechfestigkeit in der Nietnaht.Die Nietstärke d in mm ist

$$d = \frac{45 \delta}{15 + \delta} \quad (2)$$

Die Nietteilung für einfache Nietung

$$e = \frac{300 d}{106 + d} \quad (3)$$

für doppelte Nietung

$$e = \frac{500 d}{132 + d} \quad (4)$$

Für $K = 30$ kg/qmm und $Z = 59$ für einfache Nietung ergibt sich in om

$$\delta = \frac{2 R \cdot p}{k} + 0,3 \quad (5)$$

worin

 R = Halbmesser in m, p = Luftüberdruck in kg/qcm, k = zulässige Beanspruchung (für Fluß- und Schmiedeeisen 700 kg/qcm, für Gußeisen 350 kg/qcm).

Zur Berechnung der Wandstärken ebener Flächen dienen folgende Formeln:

Für Kreisflächen, welche längs des Umfanges eingespannt sind (Abb. 34)

$$\delta = 0,8165 R \sqrt{\frac{p}{k}} \quad (6)$$

Liegen diese nur lose auf (Deckel) (Abb. 35)

$$\delta = 0,913 R \sqrt{\frac{p}{k}} \quad (7)$$

Für rechteckige Platten von der Seitenlänge a und b ($a > b$), welche an allen Seiten eingespannt sind

$$\delta = 0,707 a^2 b \sqrt{\frac{p}{k(a^4 + b^4)}} \quad (8)$$

Für $a = b$ ist

$$\delta = 0,5 b \sqrt{\frac{p}{k}} \quad (8a)$$

Wie bei Dampfkesseln müssen auch bei Luftschleusen alle Ausschnitte aus den Wänden für Lufteinlässe, Mannlöcher, Türen usw. besondere Randverstärkungen haben, damit sie nicht ausbiegen oder reißen. Vrgl. Brennecke, Grundbau S. 416 u. f.

Abb. 36.

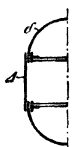
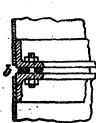


Abb. 37.



Für kreisrunde Schachttrohre mit innerem Ueberdruck gelten die Formeln 1 bis 5. Bei einem Querschnitt nach Abb. 36 ist δ wie oben zu berechnen. Die Blechstärke A der geradseitigen Schachtwandung ergibt sich aus Addition der Normal- und Biegungsspannung unter Berücksichtigung der Schwächung durch die Niete zu

$$A = \frac{3 p r}{4 k} + \frac{3}{2} \sqrt{\frac{p^2 r^2}{4 k^2} + \frac{a^2 p}{2 k}} \quad (9)$$

Die Querverankerung muß einen Querschnitt haben

$$q = (a + r) \frac{h \cdot p}{2 k} \quad (10)$$

Die Schachttrohre werden aus einzelnen Eisenblechschüssen von 1 bis 2 m Länge hergestellt. Die Dichtung erfolgt nach Abb. 37 durch Einlage eines Gummiringes oder getalgter Liderung.

c. Luftpumpen und Luftleitung.

Die Kompressoren nebst Antriebsmaschinen werden meist so bemessen, daß sie imstande sind, in 1 st die Arbeitskammer, Steigeschächte und Luftschleusen mit Preßluft zu füllen, und das darin befindliche Wasser herauszudrücken. Diese Leistung ist im allgemeinen genügend, um bei den normalerweise auftretenden Undichtheiten der Schleusen und Schächte die zum Betrieb erforderliche Preßluftzuführung zu leisten.

Brennecke gibt hierzu folgende Zusammenstellung des Luftbedarfs und der erforderlichen Maschinenleistung.

Ueber Leistung, Berechnung und Konstruktion der Kompressoren s. II. Bd. Abschn. Gebläse u. Kompressoren.

Gebräuchliche Kompressoren für Luftdruckgründungen werden ausgeführt von Dubois François, Allison & Barnau, Philadelphia (System Waring); Menck & Hambrock, Ottensen b. Altona; Sudenburger Maschinenfabrik; Vulkan, Stettin; Gebrüder Benkiser, Pforzheim; Klein, Schanzlin & Becker, Frankenthal i. d. Rheinpfalz u. a.

d. Versenkungsarbeiten.

Die Versenkung bis auf den Grund erfolgt von festen oder schwimmenden Gerüsten (Senkungsapparat) aus, oder aber, indem man die äußere Senkkastenwand nach oben verlängert und so einen Schwimmkörper herstellt. Hierauf wird im Schutze des eisernen Mantels allmählich aufgemauert und so der Senkkasten versenkt. Die letztere Art stellt sich wegen des erforderlichen Blechmantels meist teurer als die erstere.

Brennecke gibt als Anhalt zu Kostenüberschlägen für feste und schwimmende Gerüste die Formeln

$$\frac{290 a + 18 (n - a)}{n \cdot t} \dots \dots \dots (1)$$

oder

$$\frac{272 + 18 n}{n \cdot t} \dots \dots \dots (2)$$

worin a = Anzahl der Gerüste, für welche das ganze erforderliche Holz beschafft werden soll, n = Anzahl der zu gründenden Pfeiler, t = Gründungstiefe unter N.-W.; 290 \mathcal{M} sind die auf 1 qm Senkkastengrundfläche entfallenden Kosten, die wie folgt entstanden sind:

Für Beschaffung eines Kranes	40 \mathcal{M}
1 cbm Rundholz	10 \mathcal{M}
1,9 cbm Kantholz = 47,5 lfd. m je 55 \mathcal{M}	105 \mathcal{M}
rd. 58 m Rund- und Kantholz zu verbinden und wieder abzubrechen zu 1,1 \mathcal{M} /lfd. m	64 \mathcal{M}
Für je 1 m Kantholz 1 kg Bolzen, je 0,40 \mathcal{M}	19 \mathcal{M}
9 qm Bohlenbelag einschließlich Verlegen, Abbrechen, Lieferung der Nägel, je 3 \mathcal{M}	27 \mathcal{M}

Zusammen 290 \mathcal{M}

Nach diesen Massenangaben kann man die Zahl 290 den örtlichen Holz- und Arbeitspreisen entsprechend verändern.

Für schwimmende Rüstungen gelten dieselben Zahlen. An Stelle der Kosten für Ramme und Rundhölzer treten diejenigen für Beschaffung der Schiffsgefäße.

Sobald der Senkkasten fest aufsteht, soll man die Aufhängung am Gerüst lösen. Alsdann erfolgt die Verdrängung des Wassers entweder unter dem Rande hindurch bei durchlässigem Boden oder mittels Syphonrohrs bei dichtem Boden.

Luftbedarf und erforderliche Maschinenleistung bei Druckluftgründungen.

Taschenbuch der Hütte. 21. Aufl. III. Band.

17

Absolute Spannung der Luft in at $\frac{p}{p_0}$		Ueberdruck m Wassersäule H	Grundfläche des Senkkastens = 30 qm					Grundfläche des Senkkastens = 60 qm					Grundfläche des Senkkastens = 90 qm				
			Sekundliche Arbeit in PS				Luftmenge, cbm von at Spannung, zur Trockenlegung erforderlich bei Annahme von 50 vH Nutzeffekt V ¹⁾	Sekundliche Arbeit in PS				Luftmenge, cbm von at Spannung, zur Trockenlegung erforderlich bei Annahme von 50 vH Nutzeffekt V ¹⁾	Sekundliche Arbeit in PS				Luftmenge, cbm von at Spannung, zur Trockenlegung erforderlich bei Annahme von 50 vH Nutzeffekt V ¹⁾
			Auf die Verdichtung der Luft mit Rücksicht auf alle Kraft- und Luftverluste	um das Wasser aus den Schachtrohren und d.Senkkasten zu vertreiben		Gesamtarbeit Θ_1 + Θ_2 + Θ_3		Auf die Verdichtung der Luft mit Rücksicht auf alle Kraft- und Luftverluste	um das Wasser aus den Schachtrohren und d.Senkkasten zu vertreiben		Gesamtarbeit Θ_1 + Θ_2 + Θ_3		Auf die Verdichtung der Luft mit Rücksicht auf alle Kraft- und Luftverluste	um das Wasser aus den Schachtrohren und dem Senkkasten zu vertreiben		Gesamtarbeit Θ_1 + Θ_2 + Θ_3	
				Arbeit zum Verdrängen des Wassers	Größte Reibungsarbeit des Wassers beim Verlassen des Senkkastens				Arbeit zum Verdrängen des Wassers	Größte Reibungsarbeit des Wassers beim Verlassen des Senkkastens				Arbeit zum Verdrängen des Wassers	Größte Reibungsarbeit des Wassers beim Verlassen des Senkkastens		
m	PS	PS	PS	PS	cbm	PS	PS	PS	PS	cbm	PS	PS	PS	PS	cbm		
1,2	2,1	1,33	0,3	0,4	2,03	150	2,66	0,5	0,9	4,06	294	3,42	0,8	1,3	5,52	438	
1,4	4,1	2,85	0,7	0,4	3,95	185	5,32	1,5	0,9	6,72	355	7,60	2,1	1,3	11,00	523	
1,6	6,2	4,94	1,2	0,5	6,64	221	8,74	2,4	0,9	12,04	421	12,54	3,5	1,4	17,44	672	
1,8	8,3	7,63	1,7	0,5	9,83	257	12,92	3,4	1,0	17,32	488	18,24	5,2	1,4	24,84	704	
2,0	10,3	10,25	2,3	0,5	13,06	292	17,48	4,4	1,0	22,88	558	24,70	6,5	1,4	32,60	798	
2,2	12,4	13,49	2,9	0,6	16,99	328	22,61	5,5	1,0	29,11	631	31,73	8,0	1,4	41,13	895	
2,4	14,4	17,10	3,5	0,6	21,20	363	28,50	6,5	1,0	36,00	705	39,52	9,5	1,5	50,52	993	
2,6	16,4	21,09	4,0	0,6	25,69	399	34,58	7,5	1,1	43,18	782	47,88	11,0	1,5	60,38	1094	
2,8	18,5	25,84	4,7	0,6	31,14	435	41,42	8,7	1,1	51,22	863	56,43	12,6	1,5	70,53	1198	
3,0	20,7	30,78	5,4	0,7	36,88	471	49,02	9,9	1,2	60,12	948	67,07	14,4	1,6	83,07	1308	

$G = \text{rd. } 80 \text{ qm, } U = \text{rd. } 21,7 \text{ m, } h = 2 \text{ m.}$ $G = \text{rd. } 60 \text{ qm, } U = \text{rd. } 29 \text{ m, } h = 2 \text{ m.}$ $G = 90 \text{ qm, } U = 39,7 \text{ m, } h = 2 \text{ m.}$

Es sind überall 2 Schachtrohre von 1 m Durchmesser und 2 Schleusen angenommen. Der über Wasser liegende Preßluftraum ist gleichmäßig mit 12,84 cbm berücksichtigt.

Tafel für Senkkastengründungen.

257

Falls beim Absenken im Boden die Reibung der Seitenwände so groß wird, daß sie durch das Gewicht des Pfeilers nicht überwunden wird, so kann man sich durch plötzliches Vermindern des Luftdrucks helfen. Es kann jedoch hierbei leicht ein Abreißen des Senkkastens vom Mauerwerk eintreten, wenn beide Teile nicht fest miteinander verankert sind (Viadukt zu Marmande).

Bei langsamer Verminderung des Luftdrucks ist zwar ein Abreißen weniger zu fürchten, dagegen wird hierbei viel Boden unter der Schneide in den Senkkasten geschlämmt, die zu fördernde Bodenmasse also erheblich vergrößert.

Die **Beleuchtung** des Senkkastens sollte nur noch elektrisch erfolgen, da Kerzenbeleuchtung ungesund ist.

e. Sicherheitsmittel für den Betrieb bei Luftdruckgründungen.

Hohe Spannung der Gase, aus denen die atmosphärische Luft besteht, erzeugt gesundheitschädliche Wirkungen. Bis zu einem Druck von 2 at ist die Kohlensäure der schädlichste Bestandteil. Bei höherem Druck aber wirkt der hochgespannte Sauerstoff durch zu lebhaftes Oxydation schädigend auf den Organismus. Bei niederem Druck bis 2 at genügt es also, für möglichste Verdünnung der Kohlensäure durch frische Luft zu sorgen, bei höherem Druck muß der Sauerstoffgehalt vermindert werden. Man erreicht dies z. B. durch Ueberleiten von Luft über glühende Kohlen und Abfangen der sich bildenden Kohlensäure durch Kalkmilch.

Brennecke gibt ausführliche Sicherheitsvorschriften, von denen die wichtigsten folgende sind:

1. Es dürfen nur gesunde Personen von 20 bis 50 Jahren als Arbeiter zugelassen werden, die vorher ärztlich untersucht sind (dürfen keine Herzfehler oder solche der Atmungsorgane haben).

2. Schichtdauer für Arbeiter:

bis $1\frac{3}{4}$ at Ueberdruck	zweimal täglich	4 st
" $2\frac{1}{2}$ "	" einmal	" 6 "
" 3 "	" "	" 4 "
" $3\frac{1}{2}$ "	" "	" 3 "

3. Das Ein- und Ausschleusen muß dem Druckunterschied entsprechend langsam, bei hohem Druck in einzelnen Absätzen vorgenommen werden. Die Leute sind zu unterweisen, wie sie Ohrenscherzen und Unwohlsein beim Einschleusen verhindern können.

Die Schleusungsdauer soll betragen:

bei einem Ueberdruck bis	1 at	5 min
" "	" $1\frac{1}{2}$ "	" 10 "
" "	" 2 "	" 20 "
" "	" $2\frac{1}{2}$ "	" 35 "
" "	" 3 "	" 50 "
" "	" $3\frac{1}{2}$ "	" 70 "

4. Bei hohem Druck sollen die Hähne zum Luft-Ein- und Auslassen nicht im Inneren der Schleuse bedient werden können. Die Hähne sind so einzustellen, daß die vorgeschriebene Schleusungsdauer nicht unterschritten werden kann.

5. Der Schleusenraum soll für einen Kopf der gleichzeitig zu schleusenden Leute $\frac{3}{4}$ cbm, mindestens im ganzen aber 2,5 cbm betragen.

6. Die in den Senkkasten gedrückte Preßluft soll auf 18° C. abgekühlt sein und wenig Wassergehalt haben. Die frische Luft soll man möglichst unten im Arbeitsraum zuführen.

7. Beim Ausschleusen sollen die Leute in der Schleuse wärmere Ueberkleider anlegen.

8. Bei heftigen Gliederschmerzen, Lähmungen, Ohnmachten usw. bringe man den Kranken sofort in die verdichtete Luft zurück und schleuse ihn, nachdem er sich erholt hat, vorsichtig wieder aus.

9. Alle Erkrankungen sind sofort dem Arzt zu melden.

Als Sicherheitsvorschriften technischer Art empfiehlt Brennecke:

1. Für Schleusen ist nur bestes Kesselmantelblech zu verwenden.

2. Vor und nach jeder Bauausführung sind die Schleusen und Schachtrohre mit Wasserdruck bis zu doppelter Spannung zu proben. Befund ist auch hinsichtlich sonstiger Mängel in ein Revisionsbuch einzutragen.

3. Es ist erforderlich: Je ein Manometer an der Schleuse, an der Luftpumpe und an der Luftzuleitung zum Senkkasten, ferner in der Schleuse in Verbindung mit dem Schacht. An der Schleuse muß außerdem ein Revisionsstutzen sein.

4. Mit Rücksicht darauf, daß die Festigkeit des Eisens infolge ständigen Spannungswechsels nachläßt, soll die Verwendungszeit betragen:

a) Bei Schleusen 1500 Arbeitstage, davon die letzte Hälfte nur für $\frac{2}{3}$ der als zulässig berechneten Spannung;

b) Bei Schachtrohren 4000 Arbeitstage.

5. Bei Gründungen in wenig durchlässigem Boden, wie Lehm, Ton, Schlamm, müssen Sicherheitsventile in der Zuleitung und in Verbindung mit dem Senkkasten angebracht sein.

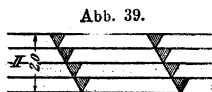
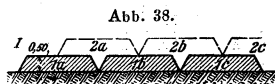
6. Verschlüsse (Schleusentüren, Klappen usw.), welche nicht durch Luftdruck, sondern durch Schrauben oder andere Vorrichtungen, entgegen dem Luftdruck auf ihren Sitz gepreßt werden, sind zu vermeiden.

7. Das Luftzuführungsrohr muß am Eintritt in den Pressluftraum ein Rückschlagventil haben.

8. Der Arbeitsraum ist möglichst frei von Hindernissen, als Querträgern, Absteifungen u. dgl. zu halten, damit die Arbeiter bei eintretender Gefahr schnell zu den Schachtrohren eilen können.

f. Taucherglockengründung.

Zur Herstellung großer zusammenhängender Fundamente unter Wasser verwendet man Taucherglocken. Sie sind in ihrer Wesensart schwimmende Caissons, in deren Schutz unter Druckluft das Fundament in einzelnen Teilen aufeinanderfolgend hergestellt wird. Beim Umsetzen der Glocke von einer Arbeitsstelle zur nächsten bleiben da, wo die



Schneide stand, zunächst Lücken (vgl. Abb. 38). Die Lücke läßt sich bei den Stellungen 2 der Glocke ausfüllen, indem an die Senkkastenschneide ein entsprechendes dreieckiges Dichtungsschild angesetzt wird. Die aufsitzenden Kanten erhalten einen Dichtungswulst aus Segeltuch, der mit Moos gefüllt ist. Um das häufige Umsetzen der Glocke zu vermeiden, kann man auch vier Lagen Mauerwerk bzw.

Beton hintereinander herstellen (Abb. 39). In den meisten Fällen wird es außerdem genügen, die Lücke unter Wasser auszubetonieren, namentlich bei der ersten Ausführungsweise, wo durch Ueberdecken der Schichten ein guter Verband erzielt wird. Die Schichtstärke wählt man 50 cm bis höchstens 1 m stark. Der Arbeitsraum der Glocke muß alsdann 2,0 bis 2,5 m hoch sein. Höher wähle man ihn nicht, mit Rücksicht auf die Schwerpunktslage und Schwimmfähigkeit der Glocke. Bei der Ausführungsweise Abb. 39 binden die übereinander-

liegenden Lagen besser aneinander an, weil sie unmittelbar nacheinander ausgeführt werden. Für Dock- und Schleusensohlen ist dies von Wichtigkeit. Um zu verhindern, daß Druckwasser, welches zwischen die Lagen eindringt, die Docksohlenlagen einzeln hebe, kann man senkrechte Eisenanker anwenden.

Mit Hilfe der Taucherglocke läßt sich auch der Bodenaushub für die Baugrube bis zu etwa 3 m Tiefe bewerkstelligen. Darüber hinaus wird man mit Rücksicht auf das Wiederherausheben der Glocke nicht gehen können. Mauer- und Betonarbeiten können in allen erdenklichen Profilen in der Glocke hergestellt werden, die somit ein Universalmittel für Bauausführungen im Wasser bietet.

Ueber Konstruktion und Beschreibung ausgeführter Taucherglocken s. Brennecke, Grundbau, sowie die spezielle Literatur.

Brennecke gibt die Eisengewichte ausgeführter Taucherglocken wie folgt:

Taucherglocke zum Bau von	Eisengewicht in kg. bezogen auf 1 qm Grundfläche der Glocke (ohne Ballast)	
	a) ohne	b) mit Schachtrohre, Schleusen usw
1. Molen von La Palice	--	663
2. Trockendock von Genua (ausgeführt von Zschokke & Terrier)	625	682
3. Neue Trockendocks in Kiel (Entwurf Brennecke)	--	812
4. Fünf Trockendocks in Kiel und Wilhelmshaven (ausgeführt von Philipp Holzmann)	586 ¹⁾	672 ¹⁾

¹⁾ Hierzu gehören jedoch noch zwei eiserne Schiffe nebst eisernem Gerüstaufbau, deren Gewicht nicht bekannt. Die Taucherglocke samt Einrichtung zur Stromerzeugung, Mörtelwerk usw. kostete rd. 850 000 M.

Die Marineverwaltung zahlte für 1 cbm Beton oder Mauerwerk, in Preßluft herzustellen, ausschl. der Materialien:

in Kiel bei Dock V	16,50 M
" " " VI	18,50 "
" Wilhelmshaven bei Dock IV, V, VI	16,65 "
" " " den neuen Schleusen	12,00 "
1 cbm Kiesbeton stellte sich im ganzen in Kiel	auf 31,35 M
1 " Schotterbeton	" 35,10 "

7. Gefriergründung.

Dieses Verfahren, vom Berg- und Hütteningenieur Poetsch erfunden, besteht darin, daß durch künstliche Erzeugung von Kälte wasserhaltiger Boden zum Gefrieren gebracht wird. Der früher schwimmende Boden wird steinartig und ermöglicht ein trockenes, bergmannsmäßiges Abteufen der Baugrube. Als Träger der Kälte wird eine Flüssigkeit benutzt, die erst bei hohen Kältegraden gefriert (Chlorkalciumpulver bei -40° C), oder auch kalte Luft (im hohen Norden).

Zur Erzeugung der Kälte dienten in Deutschland bisher ausschließlich Maschinen von Oskar Kropf in Nordhausen, in denen die Verdunstung von Ammoniak zur Abkühlung von Chlorkalciumpulver auf -20° C benutzt wird (Patent).

Der Bauvorgang einer Gefriergründung ist aus den Abb. 40 u. 41 ersichtlich. Rund um die Baugrube sind in Abständen von 0,8 bis

Abb. 40.

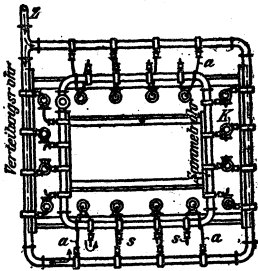
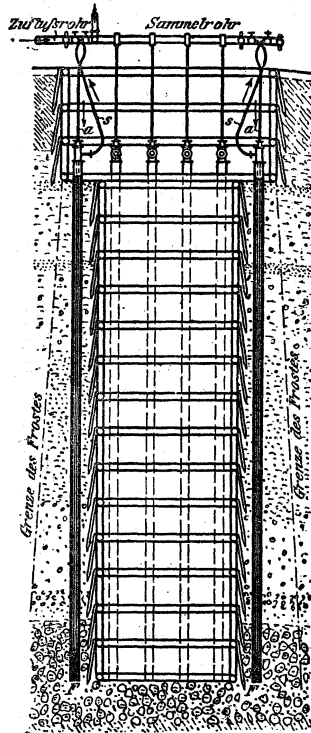


Abb. 41.



1 m Rohre von etwa 175 mm l. W. eingesetzt. In diesen befinden sich Rohre von 30 mm l. W. Die kalte Lauge tritt von der Eismaschine in eine Verteilungsleitung, an welche die dünnen Rohre *a* angeschlossen sind. Am Fußpunkt *F* dieser Rohre tritt die Lauge in die weiten Kühlrohre und gelangt durch eine zweite Sammelleitung *s* zur Eismaschine zurück. Die Baugrube wird entweder bergmännisch abgeteuft oder es wird ein Brunnen abgesenkt, wobei der Aushub im Trockenen geschieht.

Ein notwendiger Umstand bei der Ausführung einer Gefriergründung ist, daß sich das Grundwasser in Ruhe befindet, damit sich die Eisbildung vollziehen kann. Schon geringe Strömung verzögert die Erstarrung wesentlich oder macht sie unmöglich.

Zu den Kosten einer Gefriergründung gibt Brennecke folgende Anhaltspunkte:

Für das Absenken der Kühlrohre pro lfd. m 4 Tagewerke = 15 bis 18 *M.* Lohn. Nimmt man an, daß pro lfd. m Rohr bei stillstehendem Grundwasser etwa täglich 100 kg Eis erzeugt werden müssen, so ergibt sich unter Zugrundelegung von Leistungen und Kosten der Kropfschen Maschinen die umseitige Zusammenstellung.

In den täglichen Betriebskosten sind 10 vH für Tilgung des Anlagekapitals und 5 vH Zinsen gerechnet, dsgl. 1 t Kohle zum Heizen des Kessels zu 13 *M.* Die Kosten für Baulichkeiten und Fundamente sind nicht inbegriffen.

Einen wesentlichen Kostenanteil wird ferner die Arbeit des Abteufens machen, falls, wie das meistens der Fall ist, der gesamte Boden gefroren ist. Es dürfte dann einschl. der Absteifungen 40,0 *M./cbm* in vielen Fällen nicht zu hoch gerechnet sein.

Der Eismaschine				Die Maschine genügt für eine Gesamt- länge der Gefrierrohre von
Nr. im Preis- ver- zeichnis	Anschaffungs- kosten einschl. Fracht und Aufstellung <i>M</i>	tägliche Betriebs- kosten einschl. Zinsen und Abschreibung <i>M</i>	tägliche Eis- erzeugung kg	
3	20 000	33	2 400	96 bis 100
4	29 900	44	6 000	240 „ 250
5	46 000	75	12 000	480 „ 500
6	58 000	93	18 000	720 „ 750
7	66 000	103	24 000	950 „ 1000

Ein wesentlicher Nachteil bei der Ausführung von Gefriergründungen ist die lange Zeitdauer, da viele Arbeiten erst nacheinander, nicht gleichzeitig vorgenommen werden können.

Immerhin bieten Gefriergründungen bei ruhigem Grundwasser die Möglichkeit, bis zu Tiefen vorzudringen, die bisher für unerreichbar galten.

8. Steinkistenbau.

In Ländern, die billiges Holz haben, wie Rußland, Skandinavien, Amerika, wird namentlich zur Gründung von Kaimauern häufig der sogen. Steinkistenbau angewendet. Er besteht darin, daß große Kasten aus Rundholz hergestellt werden, die schwimmend nach dem Ort der Verwendung gebracht, dort durch Ausfüllen mit Steinen versenkt werden. Ueber Niedrigwasserspiegel wird dann aufgemauert.

9. Einfache Steinschüttung

findet namentlich bei Seebauten (Molen, Kaimauern) Anwendung. Mit Rücksicht auf die Stosswirkung der Wellen werden auf der Hauptangriffsseite die größten Steine (künstliche Betonblöcke) verwendet, im Kern des Schüttkörpers die kleinen.

10. Versteinerungsgründungen.

Durch Einspritzen oder Einpressen eines erhärtenden Bindemittels in sandigen oder kiesigen Boden wird eine kompakte Masse erzielt. Neukirch, Bremen hat ein patentiertes Verfahren erfunden, indem Zement mit Hilfe von Preßluft in das zu verdichtende Fundament eingeblasen wird. Kinipple führt dickflüssigen Zement in Kiesboden oder künstliche Steinschüttung ein, wo er sich durch eigene Schwere in die Hohlräume ergießt.

11. Zusammengesetzte Gründungsarten.

Namentlich die Preßluftgründung wird vorteilhaft mit anderen Gründungsarten vereinigt. Besonders vorteilhaft kann es werden, wenn bei der Ausführung von Brunnengründungen für eventuelle Benützung von Preßluft Vorkehrungen getroffen sind. Nur dadurch lassen sich manchmal große Hindernisse in kurzer Zeit entfernen.

Da sich bei Preßluftgründungen eine Tiefe von etwa 35 m unter Wasserspiegel nicht überschreiten läßt, ohne die Arbeiter bei dem

hohen Luftdruck zu gefährden, so kann bei noch tieferen Gründungen die Anwendung des Gefrierverfahrens vom Senkkasten aus die Möglichkeit gewähren, den festen Baugrund zu erreichen. Auch die Herstellung eines Pfahlrostes unter dem Senkkasten ist zu erwägen, wenn man die Tiefenlage des guten Baugrundes kennt.

G. Verschiedenes.

1. Schutz der Fundamente gegen Unterspülung.

Um die Fundamente eines Bauwerkes, das einseitigen Wassertüberdruck erleidet, gegen Unterspülung zu sichern, wendet man bei felsigem, steinigem, kiesigem Boden (z. B. bei Talsperren, Wehren) Herdmauern und gemauerte Verzahnungen an. In vielen Fällen erweist sich die Ausfüllung der Baugrube mit Beton, Ton oder Lehm als vorteilhaft. Deiche und Erddämme, die auf wasser-durchlässigem Boden stehen, erhalten einen Kern aus Beton, Ton oder Lehm, der bis zu einer undurchlässigen Bodenschicht hinabgeführt wird.

Bei geringem Wassertüberdruck und weichem Boden ist das Schlagen einer Spundwand das gebräuchlichste Mittel (Schleusen, Wehre, Ufermauern).

In fließenden oder bewegten Gewässern muß die Sohle des Bauwerkes gegen Austiefungen (Auskolkungen) gesichert werden. Den verschiedenartigen Bauwerken und örtlichen Verhältnissen entsprechend werden hierbei auch die verschiedensten Mittel angewendet, von denen hauptsächlich genannt seien:

Abdeckung durch Buschpackwerk, Faschinen, Sinkstücke, Steinschüttung, Pflasterung, Einbau von Grundswellen und Herdmauern.

2. Schutz gegen das Aufweichen des Baugrundes.

Ton- und Lehm Boden kann viel von seiner Tragfähigkeit verlieren, wenn er durch Wasser aufgeweicht wird. Bauwerke, die auf Hängen und Böschungen fundiert sind (z. B. die Endwiderlager von Brücken, Viadukten), sind Rutschungen ausgesetzt, wenn sich unter dem Fundament geneigte Lehm- oder Tonschichten befinden. In solchen Fällen muß das Oberflächenwasser schnell und gut abgeführt werden (wasserdichtes Pflaster), bevor es imstande ist, den Boden in größerer Tiefe aufzuweichen. Drainagen unterstützen die Trockenhaltung des Bodens. Die Beschädigungen an Häusern in Städten mit lehmigem Baugrunde durch nachträglichen Sacken, namentlich wenn nebenan Neubauten aufgeführt werden, sind fast ausschließlich darauf zurückzuführen, daß die Fundamente nicht vor dem Tagewasser geschützt waren. Infolgedessen erweicht der Baugrund daneben, und der ohne Trennungsfuge neben dem alten Hause aufgeführte Neubau zieht den alten Bau mit sich herunter. Daher ist ein etwa 5 cm weiter frei von Mörtel zu haltender Zwischenraum zwischen Nachbarbauten anzuordnen.

3. Als Schutz der Fundamente gegen die Bodenfeuchtigkeit

wendet man Isolierungen durch Asphaltsschichten, Anstriche mit Goudron, Ueberdeckungen mit Tafelglas sowie Einlagen von Walzblei an. Neuerdings hat sich auch ein 2 cm starker Zementputz mit Zusatz von Bitumen-Emulsion oder Ceresit (hergestellt von den Wunnerschen Bitumenwerken in Unna) als wasserundurchlässig bewährt.

4. Vorkehrungen zum gleichmäßigen Setzen.

Ist man gezwungen, bei einem Bauwerke verschiedene Gründungsarten anzuwenden, so lasse man zwischen den verschieden gegründeten Teilen senkrechte Fugen bis oben durchgehen, die erst nach Fertigstellung des Ganzen geschlossen werden. Man vermeidet dadurch die Beschädigungen, welche das ungleiche Setzen der verschieden fundierten Teile hervorruft.

Bei Klauboden an den Küsten, wo stets auf starkes Setzen zu rechnen ist, legt man Roste von I-Eisen oder alten Eisenbahnschienen in die Fundamente und auch wohl noch über den Fenstern des Erdgeschosses ein, um starke Risse zu vermeiden.

5. Für Gebäude auf Grubenboden, in Gegenden mit häufigen Erdbeben oder auch frisch aufgeschüttetem Boden

sind Gebäude aus Eisenschwergewerk bzw. Eisenbeton mit starken Verbindungen zweckmäßiger als Massivbauten.

6. Massive Kaimauern im Ebbe- und Flutgebiet

leiden durch den fortwährenden Wechsel der Bodenpressung. Sie machen bei jedem Niedrigwasser eine minimale Kippbewegung nach dem Wasser, die bei Hochwasser infolge des passiven Erddruckes nicht wieder zurückgehen kann. Sie neigen sich mit den Jahren immer mehr nach dem Wasser. Man kann dies dadurch vermeiden, daß man die Mauern nicht mit Boden, sondern mit Schotter hinterfüllt und diese Hinterfüllung mit dem Wasser vor der Mauer in offener Verbindung läßt.

VIERTER ABSCHNITT.

EISENBETONBAU.

I. ALLGEMEINES.

Die Technik des Eisenbetons ermöglicht es, die mannigfachsten Aufgaben bautechnischer Art in zweckentsprechender, wohlfeiler Weise mit dem geringsten Aufwand an Stoffmasse, Stärke und Bauhöhe zu lösen. Besondere Vorteile des Eisenbetons:

1. **Unbedingte Feuersicherheit des Tragwerks**, keine Einsturzgefahr bei einem Innenbrande, also wesentliche Erleichterung aller Lösch- und Rettungsarbeiten sowie schnelle Wiederinbetriebsetzung der ausgebrannten Innenräume; weder Rissebildung im Beton noch Glühendwerden des einbetonierten Eisens; keine schädliche Einwirkung des kalt angespritzten Löschwassers; niedrige Versicherungsprämien für das Bauwerk wie für den Inhalt.

2. **Kein Rosten des Eisens im Betonkörper.**

3. **Kurze Herstellungsdauer**, namentlich bei Maschinenmischung.

4. **Gute Raumausnutzung**, Verminderung der Konstruktionshöhe und der Stützenszahl, Schaffung heller, lichter Arbeitsräume, Anpassungsfähigkeit bei noch so verwickelten Formen und Grundrissen (Galeriebauten, gewundene Treppen, Turbinenkammern).

5. **Große Tragfähigkeit** bei ruhender wie bei stoßweiser Lasteinwirkung; bedeutende Steifigkeit und Starrheit des Bauwerks; Widerstandsfähigkeit gegen heftige Erschütterungen (Maschinenfundamente Fabrikanlagen mit Transmissionen, Eisenbahnbrücken, Festungsbauten).

6. **Billigkeit in Herstellung und Unterhaltung**, einfache und schnelle Beschaffung der Rohstoffe, geringe Frachtkosten, wenig oder gar keine Ausbesserungsarbeiten, Fortfall von Neuansstrichen, Auswechslungen u. dgl.

7. **Hygienische Vorteile** für Schul- und Krankenhausbauten, kein Schwamm, kein Stocken und Faulen, kein Ungeziefer.

8. **Wetterfestigkeit und Wasserdichtigkeit**, die mit zunehmendem Alter und mit Erhöhung des Zementanteils wächst; nötigenfalls Verputzschicht aus recht fettem Mörtel (Herstellung von Röhren, Wasserbehältern, Kaimauern, Fundierungen u. dgl.).

9. Möglichkeit künstlerischer Behandlung, monumentale Formgebung und Flächenwirkung; Bearbeitung mit Meißel und Schlögel, Vermeidung jeglicher Scheinarchitektur.

Den Vorteilen der Eisenbetonbauweise steht gegenüber, daß die Ueberwachung der Arbeiten, soll für die Güte des Bauwerks Bürgschaft geleistet werden, überaus gewissenhaft sein muß. Ferner fallen die beträchtlichen Ausgaben für Schalungen und Rüstungen zu Ungunsten des Eisenbetons sehr ins Gewicht.

Die Baustoffe.

Der wichtigste Baustoff für die Herstellung des Eisenbetons ist der **Zement** (vgl. I. Bd. Abschn. Stoffkunde), u. zw. darf nach den amtlichen Bestimmungen nur der sogen. **Portlandzement***) verwendet werden. Zwecks scharfer Unterscheidung dieses Zementes von Schlacken- und anderen Mischzementen ist vom Verein Deutscher Portlandzementfabrikanten folgende Begriffserklärung für ihn aufgestellt worden: „Portlandzement ist ein hydraulisches Bindemittel mit nicht weniger als 1,7 Gewichtsteilen Kalk (CaO) auf 1 Gewichtsteil lösliche Kieselsäure (SiO_2) + Tonerde (Al_2O_3) + Eisenoxyd (Fe_2O_3), hergestellt durch feine Zerkleinerung und innige Mischung der Rohstoffe, Brennen bis mindestens zur Sinterung und Feinmahlen. Dem Portlandzement dürfen nicht mehr als 3 vH Zusätze zu besonderen Zwecken zugegeben sein“. Jegliche Zutaten beim Brennen sind verwerflich, vor allem mineralische Farbstoffe, die dazu dienen sollen, dem Zement ein besseres Aussehen zu verleihen. Die Beigabe solcher geschieht fast immer auf Kosten der Festigkeit; nur das Ultramarin macht hier wegen seiner hydraulischen Eigenschaften eine Ausnahme.

Eisenportlandzement**) wurde früher ohne weiteres als Portlandzement in den Handel gebracht. Jetzt wird für alle diejenigen Zemente, welche nach dem Brennen einen Zusatz von Schlackemehl erfahren, der Name „Eisenportlandzement“ gewählt. Beim Ankauf von Eisenportlandzementen ist ebenso Vorsicht geboten, wie beim Ankauf von Schlackenzementen, welche unter den verschiedensten hoch klingenden Namen in den Handel gebracht werden. Es gibt auch Romanzemente, die nach den Normen geprüft, die geforderten Festigkeiten wohl erreichen, sonst aber durchaus nicht dem Portlandzement ebenbürtig sind.***)

Durch öfteres Umschaukeln des Portlandzementes mit Sand und Kies oder zer Schlagenen Steinen (Magerungsstoffen) wird — bei gleichzeitiger Wasserzufuhr — ein inniges Gemenge erzielt, welches man „**Beton**“ nennt (vgl. I. Bd. Abschn. Stoffkunde). Die Begriffe „Beton“ und „Mörtel“ decken sich eigentlich: Mörtel ist ein Gemenge aus mehr

*) „Deutsche Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement“, Dezember 1909 (s. I. Bd. Abschn. Stoffkunde). Berlin 1910. Verlag von W. Ernst u. Sohn.

) **Erlaß des preussischen Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 6. März 1909:

Die im Anschluß an meinen Erlaß vom 21. November 1902 im Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde ausgeführten Versuche haben ergeben, daß Eisenportlandzemente und Portlandzemente im allgemeinen als gleichwertig zu erachten sind. Falls daher bei der Untersuchung nach den jeweils geltenden „Normen“ für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement“ die Eisenportlandzemente nicht nur bei Wasser, sondern auch bei Lufterhärtung befriedigende Ergebnisse zeigen, ist gegen ihre Verwendung bei öffentlichen Bauten nichts einzuwenden. In den Ausschreibungen sind, wenn nicht ganz besondere Verhältnisse die Lieferung von Portlandzement geboten erscheinen lassen, Angebote für Portlandzement oder Eisenportlandzement einzufordern, und wird es dem Ermessen Ew. Tit. (der pp.) überlassen, nach sorgfältiger Abwägung der vorliegenden Verhältnisse das für die Verwaltung günstigste Angebot zu wählen. Doch ist streng darauf zu halten, daß von den Anbietern sowohl des Portlandzements wie des Eisenportlandzements eine Angabe über die Zusammensetzung und Herstellungsweise des angebotenen Zements, in zweifelhaften Fällen auch die Beibringung eines diese Angaben bestätigenden Zeugnisses des Königl. Materialprüfungsamtes zu Groß-Lichterfelde verlangt wird. Ich bemerke dabei, daß unter Eisenportlandzement ein im übrigen wie Portlandzement hergestellter Zement verstanden werden soll, der aus mindestens 70 vH Portlandzement und höchstens 30 vH einer geeigneten gekörnten Hochofenschlacke besteht.

***) Ueber Herstellung, Eigenschaften und Prüfung des Portlandzementes vgl. u. a. Büsing u. Schumann, „Der Portland-Zement und seine Anwendungen im Bauwesen“. 3. Aufl., 1905, Berlin.

oder minder groben Sandkörnern, dessen Hohlräume durch ein zunächst plastisches, später erhärtendes Bindemittel (Zement) ausgefüllt sind.)*

Die zur Herstellung des Betons erforderlichen **Steine** müssen in jedem Falle mindestens dieselbe Druckfestigkeit aufweisen können wie der Portlandzement nach seiner Erhärtung. Harte, scharfkantige Steine, wie Granit, Gneis, Basalt, Porphy, Dolomit usw., sind für die Betonbereitung besonders empfehlenswert. Korngrößen der Schotterstücke höchstens 5 bis 6 cm im Durchmesser, bei enger Eiseinteilung 2 bis 3 cm. Ein recht guter und zugleich billiger Zuschlag ist der **Kies**, da er infolge der verschiedensten Korngrößen die geringste Menge Mörtel erfordert. Kies muß in der Hauptsache Quarz oder feste Silikatsteine enthalten und nur einen kleinen Teilbetrag an sandigen Beimengungen aufweisen. Die Anwendung saurer **Schlacken** erfordert besondere Vorsicht, da diese infolge Schwefelgehaltes — namentlich bei zu magerer Mischung — die Eiseinlagen zum Rosten bringen können. Besonders gefährlich ist die Verwendung frischer, noch nicht abgelagerter Schlacken.

Der **Sandzuschlag** braucht kein reiner Quarzsand zu sein, sondern kann auch kalkige, aber harte Bestandteile enthalten. Er muß gleich den Steinen frei von anhaftenden erdigen Beimengungen, von Kohlen- und Pflanzenresten sein und darf auch keine lehmigen oder tonigen Bestandteile aufweisen, die fest am Korn haften. Am besten ist gemischtkörniger Sand von hohem Litergewicht.

Das für die Herstellung der Mörtelspeise erforderliche **Wasser** muß vor allem rein sein und bei der Verwendung einen günstigen Wärmegrad besitzen. Wenig geeignet ist Moor- und Seewasser, Wasser mit Gips- und Magnesiumgehalt und Wasser aus Fabrikbetrieben. Für Eisenbetonbauten kommt lediglich plastischer (weicher) Beton in Frage, der dem erdfeuchten Beton gegenüber einen höheren Wasserzusatz, etwa 15 vH des Betonvolumens, aufweist. Plastischer Beton läßt sich auch einfacher und schneller einbringen und verstampfen.

Ueber **Dichtigkeit** von Betonmischungen und **Stoffbedarf** vgl. u. a. Kersten, Der Eisenbetonbau, Teil I, 8. Aufl.

Für die Eiseinlagen eignet sich am besten das **Flußeisen** mit einer Zug- und Druckfestigkeit von etwa 4000 kg/qcm. Vor dem Verlegen der Eisen sind Schmutz und Fett zu beseitigen, ebenso Rost, sofern er nur lose anhaftet. Sitzt der Rost fest am Eisen, so wirkt er nicht schädlich, sondern kann sogar eine Erhöhung der Haftfestigkeit hervorrufen. An den Enden sind die Eisen umzubiegen.

Amtliche Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten vom 24. Mai 1907, herausgegeben vom preussischen Minister der öffentlichen Arbeiten.

A. Prüfung.

§ 1.

1. Der Ausführung von Bauwerken oder Bauteilen aus Eisenbeton hat eine besondere baupolizeiliche Prüfung voranzugehen. Zu diesem Zwecke sind bei Nachsuchung der Bauerlaubnis für ein Bauwerk, welches ganz oder zum Teil aus Eisenbeton hergestellt werden soll, Zeichnungen, statische Berechnungen und Beschreibungen beizubringen, aus denen die Gesamtanordnung und alle wichtigen Einzelheiten zu ersehen sind.

Falls sich der Bauherr oder Unternehmer erst im Verlauf der Ausführung des Baues für die Eisenbetonbauweise entscheidet, hat die Baupolizeibehörde darauf zu halten, daß die vorbezeichneten Unterlagen für die Prüfung der in Eisenbeton auszuführenden Bauteile rechtzeitig vor dem Beginn ihrer Ausführung beigebracht werden. Mit der Ausführung darf in keinem Fall vor erteilter Genehmigung begonnen werden.

2. In der Beschreibung ist der Ursprung und die Beschaffenheit der zum Beton zu verwendenden Baustoffe, ihr Mischungsverhältnis, der Wasserzusatz sowie die Druckfestigkeit, die der zu verwendende Beton aus den auf der Banstelle zu entnehmenden Baustoffen in dem vorgesehenen Mischungsverhältnis nach 28 Tagen in Würfeln von 30 cm Seitenlänge erreichen soll, anzugeben. Die Druckfestigkeit ist auf Erfordern der Baupolizeibehörde vor dem Beginn durch Versuche nachzuweisen.

3. Der Beton soll nach Gewichtseinheiten gemischt werden; als Einheit hat der Sack = 57 kg oder das Fafs = 170 kg Zement zu gelten. Die Zuschläge können entweder zugewogen oder in Gefäßen zugemessen werden, deren Inhalt vorher so zu bestimmen ist, daß sein Gewicht dem vorgesehenen Mischungsverhältnis entspricht.

*) Vgl. auch Handbuch für Eisenbetonbau, herausgegeben von Fr. v. Emperger, II. Bd., Berlin 1907.

4. Die Vorlagen sind von dem Bauherrn, dem Unternehmer, der den Entwurf aufgestellt hat, und demjenigen, der die Ausführung bewirkt, zu unterschreiben. Ein Wechsel in der Person des ausführenden Unternehmers ist der Polizeibehörde sofort mitzuteilen.

§ 2.

1. Die Eigenschaften der zum Beton zu verwendenden Baustoffe sind erforderlichenfalls durch Zeugnisse einer amtlichen Prüfungsanstalt nachzuweisen. Diese Zeugnisse dürfen in der Regel nicht älter als ein Jahr sein.

2. Es darf nur Portlandzement verwendet werden, der den preussischen Normen entspricht. Die Zeugnisse über die Beschaffenheit müssen Angaben über Raumbeständigkeit, Bindezeit, Mahlfineinheit sowie über Zug- und Druckfestigkeit enthalten. Von der Raumbeständigkeit und Bindezeit hat sich der Ausführende durch eigene Proben zu überzeugen.

3. Sand, Kies und sonstige Zuschläge müssen zur Betonbereitung und zu dem beabsichtigten Verwendungszwecke geeignet sein. Das Korn der Zuschläge darf nur so grob sein, daß das Einbringen des Betons und das Einstampfen zwischen den Eiseneinlagen und zwischen der Schalung und den Eiseneinlagen noch mit Sicherheit und ohne Verschiebung der Eisen möglich ist.

§ 3.

1. Das Verfahren der statischen Berechnung muß mindestens dieselbe Sicherheit gewähren wie die Berechnung nach den Leitsätzen in Abschn. II und nach dem Rechenverfahren mit Beispielen in Abschn. III dieser Bestimmungen. Dies ist auf Erfordern von dem Unternehmer nachzuweisen.

2. Bei noch unerprobter Bauweise kann die Baupolizeibehörde die Zulassung von dem Ausfalle zuvoriger Probeausführungen und Belastungsversuche abhängig machen. Die Belastungsversuche sind bis zum Bruche durchzuführen.

B. Ausführung.

§ 4.

1. Die Baupolizeibehörde kann die Eigenschaften der in der Verarbeitung begriffenen Baustoffe durch eine amtliche Prüfungsanstalt oder in einer sonst ihr geeignet scheinenden Weise feststellen sowie eine Festigkeitsprüfung des aus ihnen hergestellten Betons vornehmen lassen. Die Prüfung der Festigkeit kann auch auf der Baustelle mittels einer Betonpresse, deren Zuverlässigkeit durch eine amtliche Prüfungsanstalt bescheinigt ist, erfolgen.

2. Die für die Prüfung bestimmten Betonkörper müssen Würfelform von 30 cm Seite erhalten. Die Probekörper sind mit der Bezeichnung des Anfertigungstages zu versehen, durch ein Siegel zu kennzeichnen und bis zu ihrer Erhärtung nach Anweisung der Baupolizeibehörde aufzubewahren.

3. Der Zement ist in der Ursprungspackung auf die Verwendungsstelle anzuliefern. 4. Das Mischen des Betons muß derart erfolgen, daß die Menge der einzelnen Bestandteile dem vorgesehenen Mischungsverhältnis stets genau entspricht und jederzeit leicht gemessen werden kann. Bei Benutzung von Mefßgefäßen ist die Füllung zur Erzielung möglichst gleichmäßiger dichter Lagerung in stets gleicher Weise zu bewirken.

§ 5.

1. Die Verarbeitung der Betonmasse muß in der Regel sofort nach ihrer Fertigstellung begonnen werden und vor Beginn ihres Abbindens beendet sein.

2. Die Betonmasse darf bei warmer und trockener Witterung nicht länger als eine Stunde, bei kühler oder nasser Witterung nicht länger als zwei Stunden unverarbeitet liegen bleiben. Nicht sofort verarbeitete Betonmasse ist vor Witterungseinflüssen, wie Sonne, Wind, starkem Regen zu schützen und vor der Verwendung umzuschaukeln.

3. Die Verarbeitung der eingebrachten Betonmasse muß stets ohne Unterbrechung bis zur Beendigung des Stampfens durchgeführt werden.

4. Die Betonmasse ist in Schichten von höchstens 15 cm Stärke einzubringen und in einem dem Wasserzusatz entsprechenden Maße durch Stampfen zu verdichten. Zum Einstampfen sind passend geformte Stampfen von angemessenem Gewicht zu verwenden.

§ 6.

1. Die Eiseneinlagen sind vor der Verwendung sorgfältig von Schmutz, Fett und losem Rost zu befreien. Mit besonderer Sorgfalt ist darauf zu achten, daß die Eiseneinlagen die richtige Lage und Entfernung voneinander sowie die vorgesehene Form erhalten, durch besondere Vorkehrungen in ihrer Lage festgehalten und dicht mit besonderer, entsprechend feinerer Betonmasse umkleidet werden. Liegen in Balken die

Eisen in mehreren Lagen übereinander, so ist jede Lage für sich zu umkleiden. Unterhalb der Eiseneinlagen muß in Balken noch eine Betonstärke von mindestens 2 cm, in Platten von mindestens 1 cm vorhanden sein.

2. Die Schalungen und Stützen der Decken und Balken müssen vollkommenen Widerstand gegen Durchbiegungen und ausreichende Festigkeit gegen die Einwirkungen des Stampfens bieten. Die Schalungen sind so anzuordnen, daß sie unter Belastung der bis zur völligen Erhärtung des Betons notwendigen Stützen gefahrlos entfernt werden können. Zu den Stützen sind tunlichst nur ungestoßene Hölzer zu verwenden. Sind Stöße unvermeidlich, so müssen die Stützen an den Stoßstellen fest und sicher verbunden werden.

3. Verschalungen von Säulen sind so anzuordnen, daß das Einbringen und Einstampfen der Betonmasse von einer offenen, mit dem Fortschreiten der Arbeit zu schließenden Seite erfolgen und ganz genau beobachtet werden kann.

4. Von der Beendigung der Einschalung und dem beabsichtigten Beginn der Betonarbeiten in jedem einzelnen Geschosse ist der Baupolizeibehörde mindestens drei Tage vorher Anzeige zu machen.

§ 7.

1. Die einzelnen Betonschichten müssen tunlichst frisch auf frisch verarbeitet werden; auf alle Fälle ist die Oberfläche der älteren Schicht aufzurauben.

2. Beim Weiterbau auf erhärtetem Beton muß die alte Oberfläche aufgeraut, sauber abgekehrt, angenäßt und unmittelbar vor Aufbringen neuer Betonmasse mit einem dünnen Zementbrei eingeschlänmt werden.

§ 8.

Bei der Herstellung von Wänden und Pfeilern in mehrgeschossigen Gebäuden darf mit der Ausführung in dem höheren Geschosse erst nach ausreichender Erhärtung dieser Bauteile in den darunterliegenden Geschossen begonnen werden. Von der Fortsetzung der Arbeiten im höheren Geschosse ist der Baupolizeibehörde mindestens drei Tage vorher Nachricht zu geben.

§ 9.

1. Bei Frostwetter darf nur in solchen Fällen gearbeitet werden, wo schädliche Einwirkungen des Frostes durch geeignete Maßnahmen ausgeschlossen sind. Gefrorene Baustoffe dürfen nicht verwendet werden.

2. Nach längeren Frostzeiten (§ 11) darf beim Eintritt milderer Witterung die Arbeit erst wieder aufgenommen werden, nachdem die Zustimmung der Baupolizeibehörde dazu eingeholt ist.

§ 10.

1. Bis zur genügenden Erhärtung des Betons sind die Bauteile gegen die Einwirkungen des Frostes und gegen vorzeitiges Austrocknen zu schützen, sowie vor Erschütterungen und Belastungen zu bewahren.

2. Die Fristen, die zwischen der Beendigung des Einstampfens und der Entfernung der Schalungen und Stützen liegen müssen, sind von der jeweiligen Witterung, von der Stützweite und dem Eigengewicht der Bauteile abhängig. Die seitliche Schalung der Balken, die Einschalung der Stützen sowie die Schalung von Deckenplatten darf nicht vor Ablauf von acht Tagen, die Stützung der Balken nicht vor Ablauf von drei Wochen beseitigt werden. Bei größeren Stützweiten und Querschnittsabmessungen sind die Fristen u. Umst. bis zu sechs Wochen zu verlängern.

3. Bei mehrgeschossigen Gebäuden darf die Stützung der unteren Decken und Balken erst dann entfernt werden, wenn die Erhärtung der oberen so weit vorgeschritten ist, daß diese sich selbst zu tragen vermögen.

4. Ist das Einstampfen erst kurze Zeit vor Eintritt von Frost beendet, so ist beim Entfernen der Schalung und der Stützen besondere Vorsicht zu beachten.

5. Tritt während der Erhärtungsdauer Frost ein, so sind mit Rücksicht darauf, daß die Erhärtung des Betons durch den Frost verzögert wird, die in Abs. 2 genannten Fristen um die Dauer der Frostzeit zu verlängern.

6. Beim Entfernen der Schalungen und Stützen müssen durch besondere Vorkehrungen (Keile, Sandtöpfe u. dgl.) Erschütterungen vermieden werden.

7. Von der beabsichtigten Entfernung der Schalungen und Stützen ist der Baupolizeibehörde rechtzeitig, u. zw. mindestens 3 Tage vorher Anzeige zu machen.

§ 11.

Ueber den Gang der Arbeiten ist ein Tagebuch zu führen und auf der Baustelle stets zur Einsichtnahme bereit zu halten. Frosttage sind darin unter Angabe der Kältegrade und der Stunde ihrer Messung besonders zu vermerken.

C. Abnahme.

§ 12.

1. Bei der Abnahme müssen die Bauteile an verschiedenen, von dem abnehmenden Beamten zu bestimmenden Stellen freiliegen, so daß die Art der Ausführung zu erkennen ist. Auch bleibt es vorbehalten, die einwandfreie Herstellung, den erreichten Erährungsgrad und die Tragfähigkeit durch besondere Versuche festzustellen.

2. Bestehen über das Mischungsverhältnis und den Erährungsgrad begründete Zweifel, so können Proben aus den fertigen Bauteilen zur Prüfung entnommen werden.

3. Werden Probebelastungen für nötig erachtet, so sind diese nach Angabe des abnehmenden Beamten vorzunehmen. Dem Bauherrn und dem Unternehmer wird rechtzeitig davon Kenntnis gegeben und die Beteiligung anheimgestellt. Probebelastungen sollen erst nach 45-tägiger Erhärtung des Betons vorgenommen und auf den nach Ermessen der Baupolizeibehörde unbedingt notwendigen Umfang beschränkt werden.

4. Bei der Probebelastung von Deckenplatten und Balken ist folgendermaßen zu verfahren. Bei Belastung eines ganzen Deckenfeldes soll, wenn mit g das Eigengewicht und mit p die gleichmäßig verteilte Nutzlast bezeichnet wird, die Auflast den Wert von $0,5g + 1,5p$ nicht übersteigen. Bei höheren Nutzlasten als 1000 kg/qm können Ermäßigungen bis zur einfachen Nutzlast eintreten. Soll nur ein Streifen des Deckenfeldes zur Probe belastet werden, so ist die Auflast in der Deckenmitte gleichmäßig auf einem Streifen zu verteilen, dessen Länge gleich der Spannweite und dessen Breite ein Drittel der Spannweite, mindestens aber 1 m ist. Die Auflast soll hierbei den Wert von $g + 2p$ nicht übersteigen. Als Eigenlast gelten die sämtlichen zur Herstellung der Decken und Fußböden bestimmten Bauteile, als Nutzlasten die in § 16 Ziffer 3 aufgeführten erhöhten Werte (s. S. 275).

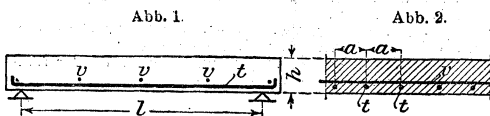
5. Bei Probebelastungen von Stützen ist ein ungleichmäßiges Setzen der Bauteile und eine das zulässige Maß überschreitende Belastung des Untergrundes zu verhüten.

II. GRUNDFORMEN.

Im allgemeinen gilt der folgende Grundsatz: Benutze den Beton, dessen Zugfestigkeit wesentlich geringer ist als seine Druckfestigkeit, zur Aufnahme der vorhandenen Druckkräfte und das Eisen zur Aufnahme der Zugspannungen, sowie zur Unterstützung des Betons bei der Aufnahme der Scher- und Schubspannungen. Man legt in den Betonkörper Eisenstäbe von zumeist rundem Querschnitt ein, und zwar derartig, daß sie durch die Wahl der Anordnung zur Aufnahme der Zugkräfte genötigt sind.

a. Platten und Plattenbalken.

Abb. 1 und 2: Grundform für eine beiderseits frei aufliegende Deckenplatte. Nur positive Momente, deshalb Zugspannungen nur in der unteren Zone. Tragstäbe t für l m Spannweite berechnet; v sind Verteilungsstäbe (Drähte von etwa 5 mm Dmr.), die die Tragstäbe in



der Querrichtung verbinden, um ihnen beim Stampfen einen sicheren Halt zu geben und den Druck zusammengedrückter Lasten gleichmäßig auf die Tragstäbe zu verteilen. Die Stäbe t sind zur Erhöhung der Tragfähigkeit der Platte soweit als möglich nach unten zu legen;

lichter Abstand bis zur Plattenunterkante 1 bis 1,5 cm. Einlagen sind an den Enden umzubiegen. Gewöhnliche Entfernung $a = 7$ bis 16 cm.

Abb. 3: Träger ebenfalls frei aufliegend. Infolge **Auskrägung** negative Momente über dem linken Auflager, weshalb die Tragstäbe dort oben liegen. Verteilungsstäbe durchweg so angeordnet, daß die Tragstäbe der am stärksten beanspruchten Zugfaser so nahe wie möglich zu liegen kommen.

Abb. 3.

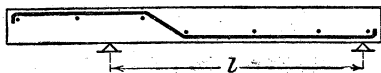


Abb. 4: **Grundformen für beiderseits eingespannte Deckenplatten.** Positives Moment in Balkenmitte, daher Einlagen unten. Negative Momente an den Einspannstellen, daher Einlagen dort oben. Bei vollkommener Einspannung (Abb. 4a) sind sämtliche Eisen nach oben geführt. Beiteilweiser Einspannung (Abb. 4b) wird nur ein Teil nach oben geführt. Im allgemeinen ist bei einfachen

Abb. 4a.

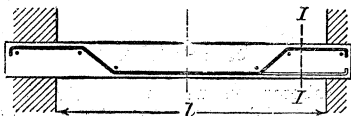


Abb. 4b.



Decken wohl immer ein kleiner Grad der Einspannung vorhanden, weshalb es sich stets empfiehlt, etliche Einlagen abwechselnd aufzubiegen. Andererseits ist vollkommene Einspannung gemäß Abb. 4a praktisch kaum ausführbar.

Abb. 5: **Voutenverstärkung** vergrößert die Querschnittsfläche an der Einspannstelle. Die Nutzhöhe $h - a$ (Abb. 6) wird größer, so daß man gegebenenfalls trotz des rechnerisch größeren negativen Einspannungsmomentes mit den Einlagen für das $+M_{\max}$ auskommen kann. Vouten stets empfehlenswert, auch bei — vermeintlich — vollkommen freier Auflagerung.

Abb. 5.

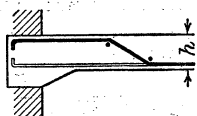


Abb. 6: **Einlagen in der Druckzone** vermindern die Deckenstärke. Die Höhe h_1 kann durch Einfügung von Druckeinlagen auf h

Abb. 6.

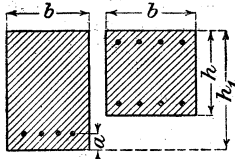
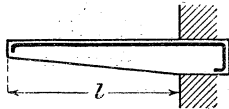


Abb. 7.



verringert werden. Durchgehende Doppelreinlagen verteuern aber die Decken und sind wirtschaftlich eigentlich nur dann berechtigt, wenn die Konstruktionshöhe verringert werden soll. Wichtig für Einspannstellen (vgl. S. 287).

Abb. 7: **Grundform für die Konsolplatte.** Einseitig eingespannt; daher Zugspannungen nur oben. Gute Verankerung der Tragstäbe vorteilhaft.

Abb. 8 u. 9: **Grundform einer Rippendecke** (Plattenbalken). Wirtschaftlich bei Deckenspannweiten ≤ 2 bis 3,5 m, normale Nutzlasten vorausgesetzt. Platte läuft kontinuierlich über die Rippen fort. In jedem Falle ist Voutenanschluss zu empfehlen. Tragstäbe der Platte in Feldmitte unten und über den Rippen oben. Für die

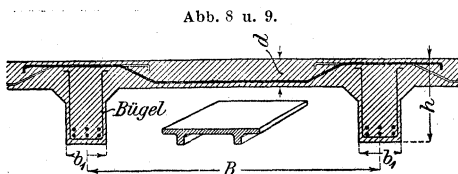


Abb. 8 u. 9.

Trageisen der Rippen gilt das gleiche, wie für die Platten angegeben. Ein Teil der Eisen am Auflager ist stets nach oben zu führen. Zwischen Eisen- und Rippenunterkante sind min-

destens 2 cm Raum zu lassen. Ueber Bügel vgl. S. 292. Je kleiner die Rippenteilung B, desto dünner die Platte; für gewöhnlich $B = 2$ bis 3 m.

b. Gewölbe.

Gewölbe in Eisenbeton können außer Druck- auch noch Zugspannungen aufnehmen; daher geringe Scheitel- und Kämpferstärken.

Abb. 10: Gewölbe mit einfacher Eiseneinlage in der Leibungszone. Bei a Rückenfläche gewölbt, bei b Rückenfläche gerade. Nur im einfachen Hoch- und Tiefbau anwendbar, wenn sich die Bogenform der Parabel nähert. Verteilungseisen wie üblich.

Abb. 10 a.

Abb. 10 b.

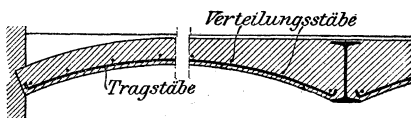


Abb. 11.

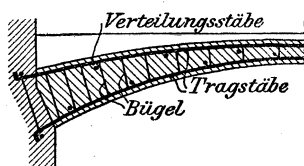
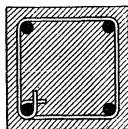


Abb. 11: Gewölbe mit doppelter Eiseneinlage und stärker werdendem

Abb. 12.



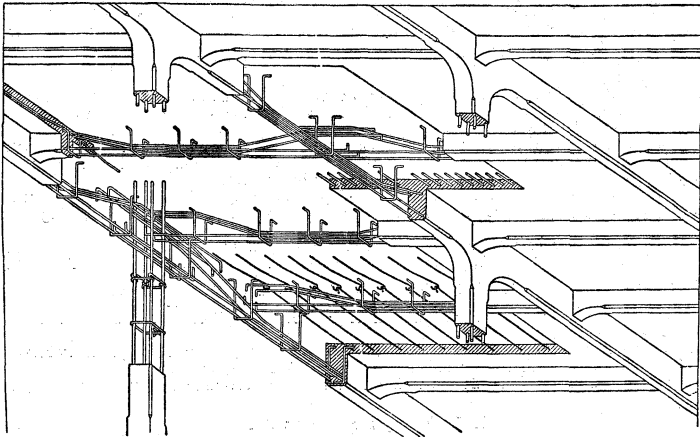
Querschnitt nach den Kämpfern hin, Anwendung im Brückenbau. Die Verbindung beider Eisennetze — insbesondere an den Kämpfern — erfolgt durch Bügel.

c. Stützen.

Querschnitt zumeist quadratisch. Haupteisen gemäß Abb. 12 möglichst an der Außenwand und in Abständen von 15 bis 40 cm durch Drahtbügel miteinander verbunden (vgl. auch Abb. 33).

Abb. 13 zeigt Gesamtanordnung und Eisenverteilung einer größeren Deckenanlage, bestehend aus Deckenplatten, Haupt- und Nebenunterzügen und Stützen.

Abb. 13.



III. THEORIE DES EISENBETONS.

1. Amtliche Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten,

vom 24. Mai 1907, herausgegeben vom preussischen Minister der öffentlichen Arbeiten.

Leitsätze für die statische Berechnung.

A. Eigengewicht.

§ 13.

1. Das Gewicht des Betons einschliesslich der Eiseneinlagen ist zu 2400 kg für das Kubikmeter anzunehmen, sofern nicht ein anderes Gewicht nachgewiesen wird.

2. Bei Decken ist ausser dem Gewicht der tragenden Bauteile das Gewicht der zur Bildung des Fußbodens dienenden Baustoffe nach bekannten Einheitsätzen zu ermitteln.

B. Ermittlung der äusseren Kräfte.

§ 14.

1. Bei den auf Biegung beanspruchten Bauteilen sind die Angriffsmomente und Auflagerkräfte je nach der Art der Belastung und Auflagerung den für frei aufliegende oder durchgehende Balken geltenden Regeln gemäss zu berechnen.

2. Bei frei aufliegenden Platten ist die Freilänge zuzüglich der Deckenstärke in der Feldmitte, bei durchgehenden Platten die Entfernung zwischen den Mitten der Stützen als Stützweite in die Berechnung einzuführen. Bei Balken gilt die um die erforderliche Auflagerlänge vergrößerte freie Spannweite als Stützweite.

3. Bei Platten und Balken, die über mehrere Felder durchgehen, darf, falls die wirklich auftretenden Momente und Auflagerkräfte nicht rechnerisch nach den für durchgehende Balken geltenden Regeln unter Voraussetzung freier Auflagerung auf den Mittel- und Endstützen oder durch Versuche nachgewiesen werden, das Biegemoment in den Feldmitten zu vier Fünfteln des Wertes angenommen werden, der bei einer auf

zwei Stützen frei aufliegenden Platte vorhanden sein würde. Ueber den Stützen ist dann das negative Biegemoment so groß wie das Feldmoment bei beiderseits freier Auflagerung anzunehmen. Als durchgehend dürfen nach dieser Regel Platten und Balken nur dann berechnet werden, wenn sie überall auf festen, in einer Ebene liegenden Stützen oder auf Eisenbetonbalken aufliegen. Bei Anordnung der Eiseneinlagen ist unter allen Umständen die Möglichkeit des Auftretens negativer Momente sorgfältig zu berücksichtigen.

4. Bei Balken darf ein Einspannungsmoment an den Enden nur dann in Rechnung gestellt werden, wenn besondere bauliche Vorkehrungen eine sichere Einspannung nachweislich gewährleisten.

5. Die rechnerische Annahme des Zusammenhanges darf nicht über mehr als drei Felder ausgedehnt werden. Bei Nutzlasten von mehr als 1000 kg/qm ist die Berechnung auch für die ungünstigste Lastverteilung anzustellen. *)

6. Bei Plattenbalken darf die Breite des plattenförmigen Teiles von der Balkenmitte ab nach jeder Seite mit nicht mehr als einem Sechstel der Balkenlänge in Rechnung gestellt werden.

7. Ringsum aufliegende, mit sich kreuzenden Eiseneinlagen versehene Platten können bei gleichmäßig verteilter Belastung, wenn ihre Länge a weniger als das Ein- und Einhalbfache ihrer Breite b beträgt, nach der Formel $M = \frac{p b^2}{12}$ berechnet werden.

Gegen negative Angriffsmomente an den Auflagern sind Vorkehrungen durch Form und Lage der Eisenstäbe zu treffen.

8. Die rechnungsmäßige, sich ergebende Dicke der Platten und der plattenförmigen Teile der Plattenbalken ist überall auf mindestens 8 cm zu bringen.

9. Bei Stützen ist auf die Möglichkeit einseitiger Belastung Rücksicht zu nehmen.

C. Ermittlung der inneren Kräfte.

§ 15.

1. Das Elastizitätsmaß des Eisens ist zu dem Fünfzehnfachen von dem des Betons anzunehmen, wenn nicht ein anderes Elastizitätsmaß nachgewiesen wird.

2. Die Spannungen im Querschnitt des auf Biegung beanspruchten Körpers sind unter der Annahme zu berechnen, daß sich die Ausdehnungen wie die Abstände von der Nulllinie verhalten und daß die Eiseneinlagen sämtliche Zugkräfte aufzunehmen vermögen.

3. Bei Bauten oder Bauteilen, die der Witterung, der Nässe, den Rauchgasen und ähnlichen schädlichen Einflüssen ausgesetzt sind, ist außerdem nachzuweisen, daß das Auftreten von Rissen im Beton durch die vom Beton zu leistenden Zugspannungen vermieden wird.

4. Schubspannungen sind nachzuweisen, wenn Form und Ausbildung der Bauteile ihre Unschädlichkeit nicht ohne weiteres erkennen lassen. Sie müssen, wenn zu ihrer Aufnahme keine Mittel in der Anordnung der Bauteile selbst gegeben sind, durch entsprechend gestaltete Eiseneinlagen aufgenommen werden.

5. Die Eiseneinlagen sind möglichst so zu gestalten, daß die Verschiebung gegen den Beton schon durch ihre Form verhindert wird. Die Haftspannung ist stets rechnerisch nachzuweisen.

6. Die Berechnung der Stützen auf Knicken soll erfolgen, wenn ihre Höhe mehr als das Achtehnfache der kleinsten Querschnittsabmessung beträgt. Durch Querverbände ist der Abstand der eingelegten Eisenstäbe unveränderlich gegeneinander festzulegen. Der Abstand dieser Querverbände muß annähernd der kleinsten Abmessung der Stütze entsprechen, darf aber nicht über das Dreifachfache der Stärke der Längsstäbe hinausgehen.

7. Zur Berechnung der Stützen auf Knicken ist die Eulersche Formel anzuwenden.

D. Zulässige Spannungen.

§ 16.

1. Bei den auf Biegung beanspruchten Bauteilen soll die Druckspannung des Betons den sechsten Teil seiner Druckfestigkeit, die Zug- und Druckspannung des Eisens den Betrag von 1000 kg/qcm nicht übersteigen.

*) Nach d. Runderlaufs v. J. 1. 4. 08 ist auch für kleinere Nutzlasten als 1000 kg/qm die Berechnung mit gleichmäßig über alle Felder verteilter Nutzlast nicht zulässig. Die Bestimmung unter 5) bezweckt nur, die Anstellung einer Vergleichsberechnung mit dem Ergebnis nach 3) zu sichern.

2. Wird in den unter § 15, Ziffer 3 bezeichneten Fällen die Zugspannung des Betons in Anspruch genommen, so sind als zulässige Spannung zwei Drittel der durch Zugversuche nachgewiesenen Zugfestigkeit des Betons anzunehmen. Bei fehlendem Zugfestigkeitsnachweis darf die Zugspannung nicht mehr als ein Zehntel der Druckfestigkeit betragen.

3. Dabei sind folgende Belastungswerte anzunehmen:

- a) Bei mäßig erschütterten Bauteilen, z. B. bei Decken von Wohnhäusern, Geschäftsräumen, Warenhäusern: die wirklich vorhandene Eigen- und Nutzlast,
- b) bei Bauteilen, die stärkeren Erschütterungen oder stark wechselnder Belastung ausgesetzt sind, wie z. B. bei Decken in Versammlungsräumen, Tanzsälen, Fabriken, Lagerhäusern: die wirkliche Eigenlast und die bis zu fünfzig vH erhöhte Nutzlast,
- c) bei Belastungen mit starken Stößen, wie z. B. bei Kellerdecken unter Durchfahrten und Höfen: die wirkliche Eigenlast und die bis zu hundert vH erhöhte Nutzlast.

4. In Stützen darf der Beton mit nicht mehr als einem Zehntel seiner Druckfestigkeit beansprucht werden. Bei Berechnung der Eiseneinlagen auf Knicken ist fünffache Sicherheit nachzuweisen.

5. Die Schubspannung des Betons darf das Maß von 4,5 kg/qcm nicht überschreiten. Wird größere Schubfestigkeit nachgewiesen, so darf die auftretende Spannung nicht über ein Fünftel dieser Festigkeit hinausgehen.

6. Die Haftspannung darf die zulässige Schubspannung nicht überschreiten.

Runderläß, betreffend Berechnung von Säulen aus eisenumschnürtem Beton.

Berlin, den 18. September 1909.

Neuerdings werden bei Bauausführungen mehrfach Säulen aus eisenumschnürtem Beton nach einer von A. Considère hierfür angegebenen Ausbildungsweise in Anwendung gebracht. Der Zulassung solcher Säulen will ich nicht entgegen sein, wenn dabei die nachstehende Berechnungsweise zugrunde gelegt wird:

Ist F_b der gesamte Betonquerschnitt,

F_e der gesamte Querschnitt der senkrechten Eiseneinlage,

F_s der Querschnitt einer gedachten, ebenfalls senkrechten Eiseneinlage, der entsteht, wenn die in der steigenden Einheit der Säule vorhandene Eisenmenge der Umschnürung in eine auf die gleiche Länge mit gleicher Menge angenommene Längseinlage umgewandelt ist,

so wird mit dem hieraus gebildeten ideellen Säulenquerschnitte

$F_i = F_b + 15 F_e + 30 F_s$ die zulässige Belastung P der Säule bestimmt aus

$P = \sigma_b \cdot F_i$, worin σ_b die nach den bestehenden Vorschriften zulässige Druckspannung des Betons in Stützen bedeutet.

Der aus vorstehender Formel entstehende größere Querschnitt F_i wird jedoch nur so lange gestattet, als er über 2 F_b nicht hinausgeht.

Als Anhalt für die Berechnungsweise der umschnürten Säulen diene folgendes Beispiel:

Eine Säule von 45 cm Durchmesser und $F_b = 1590$ qcm hat 6 Längseinlagen von je 2,0 cm Durchmesser oder $F_e = 6 \cdot 3,14 = 18,84$ qcm. Die um die Längseisen laufende Umschnürung hat bei 40 cm Durchmesser der Spirallringe auf das steigende Meter Säule 20 Eisenringe von je 1,4 cm Durchmesser und $F_s = 1,54$ qcm, so daß sich für das steigende Meter Säule F_s' aus der Gleichung ergibt

$$F_s' \cdot 1,0 = 20 \cdot 3,14 \cdot 0,40 \cdot 1,54 = 38,68 \text{ qcm}$$

und mithin

$$F_i = 1590 + 15 \cdot 18,84 + 30 \cdot 38,68 = 3033 \text{ qcm} < 2 \cdot 1590 = 3180 \text{ qcm.}$$

Haben die Probewürfel eine Druckfestigkeit von 200 kg/qcm besessen, so ist eine zulässige Druckspannung der Säule von $\frac{200}{10} = 20$ kg/qcm vorhanden, und es kann somit eine Belastung der Säule zugelassen werden

$$P = 20 \cdot 3,033 = 60,7 \text{ t.}$$

Die Knickfestigkeit ist nach den bestehenden Vorschriften nachzuweisen.

Berlin, den 21. Dezember 1909.

In Ergänzung meiner Rundverfügung vom 18. September d. J. III B 8, 332 B. D. A. 1D 16786, die Zulassung von Säulen aus eisenumschürtem Beton betreffend, weise ich darauf hin, daß das dort angegebene Rechnungsverfahren nicht allein bei Ausführungen nach der Considère'schen Ausbildungsweise, sondern ebenso auch bei anderen spiralartigen Querbewehrungen zugrunde zu legen ist, die auf die Tragfähigkeit des Eisenbetons dieselbe Wirkung ausüben.

2. Runderlaß, betreffend baupolizeiliche Behandlung ebener massiver Decken bei Hochbauten.

Berlin, den 21. Januar 1909.

Die Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten vom 24. Mai 1907 finden auf ebene Decken aus Ziegelsteinen mit Eiseneinlagen sinngemäße Anwendung, sofern die statischen Verhältnisse, namentlich die Form und Lage der Eisenstäbe, den Voraussetzungen entsprechen, die den genannten Bestimmungen im II. und III. Abschnitt zugrunde liegen. Das Elastizitätsmaß des Ziegelkörpers kann dabei zum fünfundzwanzigsten Teile von dem des Eisens angenommen werden ($n = 25$).

Die bei der Biegung in der Steinlage auftretende größte Druckspannung soll, die Verwendung von Zementmörtel vorausgesetzt, nicht 15 vH. der durch amtliche Zeugnisse nachzuweisenden Druckfestigkeit der Steine überschreiten, in keinem Falle aber mehr als 35 kg/qcm betragen. Eine zur Erhöhung der Tragfestigkeit aufgebrauchte Betonschicht bleibt, wenn sie weniger als 3 cm stark ist, bei der Tragfähigkeitsberechnung außer Betracht; bei mindestens 3 cm, aber nicht mehr als 5 cm Stärke kann die Tragfähigkeit nach obigen Vorschriften für Steindecken mit Eiseneinlagen, also mit $n = 25$ berechnet werden. Fällt jedoch die Nulllinie innerhalb dieser Betonschicht oder hat letztere eine größere Stärke als 5 cm, dann ist die Decke stets als eine Eisenbetondecke nach den Bestimmungen vom 24. Mai 1907, also mit $n = 15$ zu berechnen, wobei die Ziegelsteine nur als Ausfüllung der Zugzone zu betrachten sind. Das Mischungsverhältnis der Betonschicht darf nicht magerer sein als ein Raumteil Zement auf drei Raumteile Kiessandgemenge.

Die Schubbeanspruchung der Deckensteine darf das Maß von 2,5 kg/qcm nicht überschreiten.

Plattenförmige Decken, die beiderseits auf den unteren Flanschen eiserner Träger aufruhe und dicht an die Stege dieser Träger anschließen, dürfen als halb eingespannt angesehen und nach der Formel $M = \frac{p l^2}{10}$ berechnet werden. Werden die Decken indessen nach Art von Plattenbalken in der Weise ausgebildet, daß die eisernen Träger nur vor einzelnen, mehr oder weniger scharf ausgebildeten Balken belastet werden und die Ziegelsteinplatte nur die Zwischenräume dieser Balken überdeckt oder ausfüllt, so sind sie nur als frei aufliegend anzusehen. Das gleiche gilt von solchen Decken, die nicht unmittelbar auf dem unteren Trägerflansch, sondern auf einem überhöhten Auflager aufruhe.

Die Übereinstimmung der Güte der zur Verwendung kommenden Ziegelsteine mit der durch die Prüfungszeugnisse amtlicher Untersuchungsanstalten nachgewiesenen ist fortdauernd sorgfältig zu überwachen. Daher ist eine Wiederholung der Prüfung durch solche Anstalten nach den Weisungen und unter entsprechender Mitwirkung der Polizeiverwaltung in angemessenen Zwischenräumen erforderlich.

Auf ebene Decken ohne Eiseneinlagen sind vorstehende Vorschriften nicht anwendbar. Wenn sie nach ihrer Einzelgestaltung nicht als gewölbartige Konstruktionen angesehen und berechnet werden können, wird ihre Tragfähigkeit in der Regel durch Probebelastungen, die bis zum Bruche durchgeführt werden, zu ermitteln sein. Als zulässige Nutzlast ist ein Zehntel der aufgetragenen Probelast, die den Bruch herbeiführte, anzusehen. Die Genehmigung ist nur für die bei den Probebelastungen gewählte Spannweite, Stärke und Auflagerungsart zu erteilen, auch wenn die Bruchlast mehr als das Zehnfache der beabsichtigten Nutzlast betragen sollte.

Wegen der Verpflichtung zur Tragung der Kosten, welche durch die baupolizeiliche Prüfung der vorerwähnten Konstruktionen, die Überwachung ihrer Ausführung und die Bauabnahme entstehen, gilt das im Erlasse vom 16. April 1904 (III B 2786) Gesagte.

3. Vorläufige Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauten,

aufgestellt vom Verbands Deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine und dem Deutschen Beton-Verein.

Grundlagen für die Berechnung.

I. Äußere Kraftwirkungen.

1. Lasten.

Es sind zu unterscheiden:

- a) das Eigengewicht des Eisenbetons, welches mit dem Durchschnittswert von 2400 kg/cbm anzunehmen ist, sofern nicht geringeres Gewicht nachgewiesen wird,
- b) die übrige ständige Belastung,
- c) die Nutz- oder Verkehrslast.

2. Lagerdrücke, Momente, Querkräfte.

a) Für die Berechnung der Lagerdrücke, Momente und Querkräfte sind die Regeln der Statik und Elastizitätslehre maßgebend.

b) Um die Grenzwerte zu erhalten, ist die ungünstigste Verteilung und Stellung der Nutz- oder Verkehrslast in Betracht zu ziehen.

c) Etwaige Stosswirkungen können durch die sonst üblichen Zuschläge zu den Verkehrslasten berücksichtigt werden.

d) Als Stützweite ist in Rechnung zu stellen:

1. bei Balken die Entfernung der Auflagermitten.

Sofern der Berechnung nicht andere Annahmen zugrunde gelegt werden müssen:
2. bei frei aufliegenden Deckenplatten die Freilänge der Deckenplatte zuzüglich der Plattendicke in der Mitte,

3. bei kontinuierlichen Platten die Entfernung von Mitte bis Mitte der Balken.

e) Sofern für Einspannung und Kontinuität von Deckenplatten und Balken die erforderlichen Voraussetzungen vorhanden sind, müssen die an den Auflagern auftretenden Biegemomente bei Bemessung der Auflagerquerschnitte durch Anordnung der Eiseneinlagen nahe der gezogenen Oberfläche berücksichtigt werden.

Wird für kontinuierliche Balken und Platten eine Berechnung auf Kontinuität nicht durchgeführt, oder bei letzteren eine Einspannung zwischen Trägern oder Mauern nicht nachgewiesen, so dürfen bei gleicher Feldweite und gleichförmig verteilter Last die Momente über den Auflagern nicht kleiner als $\frac{p l^2}{8}$ und in Feldmitte nicht kleiner

als $\frac{p l^2}{10}$ angenommen werden. Bei ungleicher Feldweite bezieht sich $\frac{p l^2}{8}$ für das

Stützenmoment auf die größte Feldweite.

Eine Einspannung von Balkenenden in Mauern ist in den wenigsten Fällen vorhanden und soll daher unberücksichtigt bleiben, sofern nicht besondere konstruktive Anordnungen eine Einspannung der Enden gewährleisten. In diesem Falle ist die Möglichkeit der Einspannung durch Rechnung nachzuweisen.

f) Bei Berechnung von Stützen ist die Möglichkeit exzentrischer Belastung in Betracht zu ziehen.

II. Innere Kraftwirkungen.

a) Die inneren Kräfte und Spannungen im Beton werden ermittelt unter der Voraussetzung homogenen Materials. Der Elastizitätsmodul des Betons auf Druck E_b wird als konstant derart angenommen, daß das Verhältnis des Elastizitätsmoduls des Eisens zu dem des Betons $E_e : E_b = n = 15$ wird, so daß demnach die Eisenquerschnitte mit dem 15fachen ihres wirklichen Wertes in Rechnung zu stellen sind.

b) Die Ermittlung der inneren Kräfte und Spannungen des auf Zug beanspruchten Eisens erfolgt unter der Voraussetzung, daß die auftretenden Zugspannungen sämtlich vom Eisen aufgenommen werden müssen, die Zugfestigkeit des Betons somit außer Betracht bleibt.

c) Das auf Druck beanspruchte Eisen wird mit dem 15fachen seines Querschnitts in die Rechnung eingeführt. Die Knickgefahr ist zu berücksichtigen.

III. Zulässige Spannungen.

a) Die zulässige Beanspruchung richtet sich nach der Bruchfestigkeit der zur Verwendung gelangenden Materialien und nach der Berechnungsart.

b) In der Voraussetzung, daß der verwendete Beton nach 28tägiger Erhärtung eine Druckfestigkeit von 180 bis 200 kg/qcm und das Eisen eine Zugfestigkeit von 3800 bis 4000 kg/qcm besitzt, sollen bei Anwendung der im folgenden gegebenen Annäherungsrechnung die nachstehenden Spannungswerte nicht überschritten werden:

bei Beton auf Druck	bei Biegung	40 kg/qcm
" " "	unmittelbaren Druck	35 "
" " "	Schub bei Biegung	4,5 " *)
" " "	Adhäsion	7,5 "
" Eisen	Zug	1000

Für Beton von höherer Druckfestigkeit sind entsprechend höhere Spannungswerte für Druck zulässig, bis zu 50 kg/qcm. Gleiches gilt von Eisen mit höherer Zugfestigkeit.

4. Festigkeiten und zulässige Beanspruchungen der Baustoffe.
(Vrgl. hierzu auch I. Bd., 4. Abschnitt, Festigkeitslehre, S. 522 u. 527.)

a. Biegungsdruckfestigkeiten.

Nach Versuchen beträgt bei Mischungen 1:4 bis 1:2:4 die größte Druckfestigkeit ungefähr 200 bis 240 kg/qcm. Diesem Wert entspricht — bei 6 facher Sicherheit — eine zulässige Biegungsdruckspannung von etwa 30 bis 40 kg/qcm. Bei mageren Mischungen natürlich niedrigere Spannungsgrenzen. Schotter liefert in der Regel höhere Druckfestigkeiten als Grobkies. Nach den (preuß.) amtl. Best. soll für die Bestimmung der zulässigen Biegungsdruckfestigkeit die sogenannte Würfel Festigkeit**) nach 28tägiger Erhärtungsdauer maßgebend sein.

Erfahrungsgemäß ist bei Biegung der Bruch nur dann von der Druckfestigkeit des Betons abhängig, wenn $f_c \leq 1,5$ vH des Gesamtquerschnitts, also nur bei besonders kräftiger Bewehrung und geringer Nutzhöhe.

Sanders fand bei 8 Monate alten Balken im Mischungsverhältnis 1:3:3 eine Biegungsdruckfestigkeit von etwa 200 kg/qcm (die gefundene Würfel Festigkeit betrug nur 120 kg/qcm). Schüle und v. Emperger kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Schüle fand auch, daß die Druckspannungen beim Versuche meist wesentlich größer ausfallen, als nach den bekannten Rechnungsverfahren ermittelt wird.

b. Druckfestigkeiten der Stützen.

Bei 10facher Sicherheit ist die zulässige Spannung 18 bis 24 kg/qcm. Rechnet man mit nicht so hoher Sicherheit, so könnten als Grenzwerte etwa 30 bis 40 kg/qcm — je nach Stockwerkshöhe — angesehen werden (vrgl. auch die tabellarische Zusammenstellung auf S. 282).

*) Sofern sich bei Deckenplatten und Balken eine höhere Schubspannung als die zulässige von 4,5 kg/qcm ergibt, ist mit Rücksicht auf die unter 45° geneigten, in der Nähe der Auflager auftretenden Zugspannungen, welche der Schubspannung gleichgesetzt werden können, ein Teil der unteren Eiseneinlagen daselbst in geneigter Richtung nach oben abzubiegen und in der Druckzone zu verankern. Die Zahl der abzubiegenden Eisen bestimmt sich daraus, daß sie die über 4,5 kg/qcm hinausgehenden geneigten Zugspannungen aufzunehmen haben.

In Rücksicht auf die bessere Uebertragung der Schubkräfte aus dem Balkensteg in die Deckenplatte wird empfohlen, bei Plattenbalken den Uebergang mit einer Ausrundung oder Abschrägung zu versehen.

**) Unter Würfel Festigkeit ist die Druckfestigkeit würfelförmiger Körper zu verstehen. Die Festigkeitszahlen sind abhängig von der Form der Probekörper, insbesondere von dem Verhältnis der Seitenlänge zur Höhe. Ist das Verhältnis klein (Mörtelfugen), so ist die Druckfestigkeit hoch; in umgekehrtem Fall erfolgt der Bruch durch Ueberwindung der Schubfestigkeit. Bei Biegungskörpern ist die Druckfestigkeit nach Emperger etwa zweimal so groß als die Würfel Festigkeit, und die verlangte Höchstspannung von $\frac{1}{6}$ der Druckfestigkeit gleichbedeutend mit einer etwa 11 fachen Sicherheit.

Druckversuche mit reinem, unbewehrtem Beton.

Sanders ermittelte bei 1 Monat alten Körpern:

140 kg/qcm bei Mischung 1:3 Sand,	
165 " " " " 1:3 Sand:3 Kies,	
180 " " " " 1:2 Sand,	
200 " " " " 1:2 Sand:2 Kies.	

Burchartz fand:

rd. 204 kg/qcm bei Mischung 1:4 Kiessand (7,5 vH Wasser),	
" 181 " " " 1:4 (12 " ")	

Ergebnisse der Berliner Materialprüfungsanstalt:

Alter	28 Tage	3 Monate	1 Jahr	3 Jahre
Mischung 1:3	219	264	293	308
" 1:4	164	226	283	320
" 1:5	101	140	180	205

Aus den Versuchen von C. Bach ergibt sich folgendes:*)

Je dichter der Beton, um so größer die Druckfestigkeit; Maschinenmischung gibt höhere Festigkeitswerte; man erzielt mit Schotter größere Festigkeiten als mit Grobkies.

Beim Bau der Munderkinger Betonbrücke fand man durch Proben, daß sich die Druckfestigkeit ein- und desselben Betons (1:2½:5) nach 3 Jahren mehr als verdoppelte. Die Festigkeit von 202 kg/qcm nach 7 Tagen stieg allmählich auf 570 kg/qcm nach 9 Jahren.

Druckversuche mit eisenbewehrtem Beton.

C. Bach ermittelte an 3 Monate alten prismatischen Körpern von 1 m Länge und 25:25 cm Querschnittsfläche 168 bis 205 kg/qcm Druckfestigkeit; Mischung war 1:4 mit 15 vH Wasser. Die Bewehrung der einzelnen Probekörper war verschieden: 4 Rundstäbe von 15, 20 und 30 mm; Bügel von 7 mm Durchmesser in Entfernungen von 6,25 bis 25 cm.

Durch Vermehrung des Querschnittes der Längseisen erzielt man keine nennenswerte Vergrößerung der Tragfähigkeit, wohl aber durch Verringerung der Bügelentfernungen. Die Tragfähigkeit der Pfeiler kann also durch Vergrößerung der Haupteinlage nur unwesentlich erhöht werden.

Die Druckelastizitätszahl des reinen Betons kann auch beim Eisenbetonbau angewandt werden.**)

Gary ermittelte bei 3 Monate alten Stützen (25:25 cm Querschnitt und 3,22 m Höhe, Mischung 1:4, 4 Rundeisen von 30 mm Durchm., also 4,5 vH) eine Bruchbelastung von rd. 256 kg/qcm.

Der 2. Oesterr. Gewölbeausschuß fand eine Druckfestigkeit von rd. 277 kg/qcm bei 3½ Monate alten Prismen 50.50.100 cm, Mischung 1:3,5, 0,9 vH Einlage.

c. Biegungs-Zugfestigkeiten.

Zulässiger Grenzwert etwa **15 bis 20 kg/qcm**. Die Zugfestigkeit ist wesentlich geringer als die Druckfestigkeit (1/10 bis 1/15 davon) und bei fetter Mischung größer als bei magerer.

Mörsch verwandte 1 m lange und 3 Monate alte Probekörper von 15 cm Breite und 20 cm Höhe, belastete diese in Balkenmitte bis zum Bruch und fand folgende Werte: Bei Mischung 1:3, 1:4, 1:7 und 8 vH Wasserzusatz: 21,4, 16,1 und 13,3; bei denselben Mischungen und 14 vH Wasserzusatz 23,2, 16,7 und 12,8 kg/qcm.

Auf Grund einer rechnerischen Nachprüfung der Labesschen Vorschrift***) betreffs

*) C. Bach „Mitteilungen über die Herstellung von Betonkörpern mit verschiedenen Wasserzusätzen, sowie über die Druckfestigkeit und Druckelastizität derselben“.

**) C. Bach „Druckversuche mit Eisenbetonkörpern“.

***) Labes, „Wie kann die Anwendung des Eisenbetons in der Eisenbahnverwaltung wesentlich gefördert werden?“ Z. d. B. 1906 Nr. 52.

Berechnung der Zugspannungen sind an Hand der Ergebnisse von Biegeversuchen u. a. folgende Feststellungen gemacht worden:

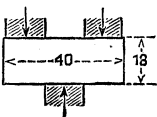
1. die rechnungsmässige Biegezugfestigkeit für nicht bewehrte Tragwerke ist kleiner als diejenige für bewehrte Tragwerke;
2. die Biegezugfestigkeit wächst mit dem Eisengehalt, mit der besseren Querverteilung und der Rauigkeit der Einlagen;
3. sie wächst auch mit dem Alter des Betons.

d. Schubfestigkeiten.

Schubfestigkeit bei fetter Mischung grösser als bei magerer. Der amtlich festgesetzte Grenzwert von **4,5 kg/qcm** entspricht einer 5- bis 8-fachen Sicherheit.

Wayss und Freytag (Prof. Mörsch) unternahmen Versuche auf reine Abscherung. Mittels der Martensschen Druckpresse wurden gemäss Abb. 14 40 cm lange prismatische unbewehrte Betonbalken, 18.18 cm im Querschnitt, geprüft. Man fand:

Abb. 14. bei 1:3, 14 vH Wasser, 2 Jahre alt rd. 65.9 kg/qcm
 1:4, 14 " " 1 1/2 Monate alt " 37.1
 Bei eisengewehrten Probekörpern wurde die Festigkeit zu rd. 35.5 kg/qcm bei 6 Wochen Alter ermittelt. Mörsch findet kein Zusammenarbeiten von Beton und Eisen im Widerstande gegen Schubwirkungen.



Zipkes stellte fest, dass die Schubfestigkeit des Betons durch Einlagen erheblich vergrößert wird. Er fand an 50 Tage alten Probekörpern 1:3 mit 14 vH Wasser 25 kg/qcm bei unbewehrten und 57 kg/qcm bei bewehrten Betonprismen.

e. Haftfestigkeit.

Die Haftfestigkeit ist in den meisten Fällen etwas grösser als die Schubfestigkeit des Betons. Sie wächst mit abnehmender Nutzhöhe des Betonquerschnittes, mit zunehmendem Prozentgehalt an Eiseneinlagen und mit dem Gesamtumfang dieser Einlagen. Im übrigen ist die Haftfestigkeit um so grösser, je fetter die Mischung, je langsam bindender der Zement und je älter der Beton ist. Als Grenzwert ist (in Preussen) amtlich nur **4,5 kg/qcm** zugelassen. Die „Vorläufigen Leitsätze“ (vgl. S. 278) nehmen **7,5 kg/qcm** als Grenzwert, entsprechend einer höchsten Haftfestigkeit von ungefähr 38 kg/qcm (also etwa 8-fache Sicherheit), an. — Nach den neuen Schweizerischen Vorschriften bleibt die Haftfestigkeit ganz unberücksichtigt.

C. Bach verwandte 3 Monate alte Probekörpern von 22.22 qcm Querschnitt und 10 bis 30 cm Länge. Bei einem Mischungsverhältnis 1:4 betrug der Wasserzusatz 15 vH. Die eingebetteten Stäbe waren teils Rundeisen (10 bis 40 mm Durchm.), teils Quadrateisen (20.20 mm), teils Flacheisen (4.40 bzw. 10.40 mm). Die Prüfungsergebnisse waren folgende:

1. die Haftungsgrösse*) hängt von der Beschaffenheit der Staboberfläche ab. Glatte Stäbe zeigen eine geringere Haftungsgrösse wie Stäbe mit Walzhaut;
2. die Haftungsgrösse hängt von der Wassermenge ab; sie wächst mit abnehmendem Wasserzusatz. Bach ermittelte

bei 12 vH Wasser 38,1 kg/qcm Haftfestigkeit und
 " 18 " 14,9 "

Bei Eisenbetonbauten sollte ein Wasserzusatz von rd. 15 vH nicht unterschritten werden;

3. ein verschieden hoher Sand- und Schotterzusatz hat innerhalb beschränkter Grenzen keinen wesentlichen Einfluss auf die Haftfestigkeit;

*) C. Bach bezeichnet den auf 1 qcm Staboberfläche bezogenen Widerstand gegen das Herausziehen oder Herausdrücken des Stabes mit Gleitwiderstand. Vgl. „Versuche über den Gleitwiderstand einbetonierten Eisens“, Berlin 1905.

4. je größer die Eisendurchmesser, desto höher die Haftungsgröße. Bach ermittelte bei 10 mm Durchmesser 14.1 kg/qcm Festigkeit

"	20	"	"	18.5	"	"
"	40	"	"	27.1	"	"

Mit kleinerem Durchmesser wächst der Einfluß der Elastizität des Eisens;

5. die Haftfestigkeit nimmt in der Regel mit zunehmender Länge der Stäbe ab;

6. die Haftungsgröße, die durch Herausziehen des Eisens aus dem Betonprobekörper ermittelt wird, ist geringer als die durch Herausdrücken gefundene Haftungsgröße. Bach ermittelte bei 20 cm Länge des Versuchskörpers und der Einlagen

15.6 kg/qcm durch Herausziehen und
22.3 " Herausdrücken,

also eine Vergrößerung der Haftfestigkeit von rd. 43 vH. Hiernach ist die Annahme berechtigt, daß die Haftfestigkeit eines auf Biegung beanspruchten Verbundkörpers in der Druckzone größer ist als in der Zugzone;

7. bei rascher Durchführung des Versuchs ergibt sich eine bedeutendere Haftungsgröße als bei langsamer Durchführung;

8. bei Stäben mit Walzhaut, in 15 cm lange Probekörper mit 15 vH Wasserzusatz eingebettet, ergaben sich folgende Größtwerte:

Rundeisen von	40 mm Durchmesser	30.3 kg/qcm
"	20	21.0
"	10	19.8
Flacheisen	10.40	21.7
"	4.40	24.5
Quadrat Eisen	20.20	31.6

Biegungsversuche mit 6 Monate alten Verbundbalken ergaben bei Rundeisen von 18 mm Durchmesser Haftfestigkeiten zwischen 19.9 und 22.3 kg/qcm

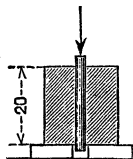
"	22	"	"	17	"	21.7
"	25	"	"	21	"	22.7
"	32	"	"	17	"	22.1

Mörsch machte Druckversuche mit 4 Wochen alten Betonwürfeln von 20 cm Seitenlänge und Einlagen von 20 mm Durchmesser (Abb. 15). Bei einem Mischungsverhältnis 1:4 ergaben sich folgende Mittelwerte:

29.1 kg/qcm bei 15 vH Wasserzusatz
31.2 " " 12.5 " "
48.8 " " 10 " "

Die Beanspruchung des Eisens erreichte den Höchstwert von 2140 kg; die Streckgrenze (2600 bis 3200 kg) war also nicht überschritten.*) Bei Anbringung von Eisenspiralen um die Hauptstäbe herum — zwecks Verhinderung eines Zerspringens des Betons — stiegen die oben angegebenen Spannungswerte auf 54, 45,9 und 50,8 kg/qcm.

Abb. 15.



f. Anfangs- und Wärmespannungen.

Beim Abbinden in der Luft zieht sich der Beton — namentlich bei fetter Mischung — zusammen; beim Abbinden unter Wasser dehnt er sich aus. Einlagen behindern diese Formänderungen, so daß beim Abbinden an der Luft Zugspannungen in den Beton und Druckspannungen ins Eisen, beim Abbinden unter Wasser umgekehrt in den Beton Druck- und ins Eisen Zugspannungen gelangen. Anfangsspannungen sind also nicht zu verwechseln mit den Spannungen infolge Wärmeeinwirkung oder Eigengewichtbelastung. Für die Aufstellung statischer Berechnungen sind die Anfangsspannungen belanglos.

Wärmespannungen sind noch unbedeutender als Anfangsspannungen, da die Ausdehnungskoeffizienten beider Baustoffe nahezu gleich groß sind. Eine Trennung beider Baustoffe durch Wärme-

*) Bei Zugversuchen kann beim Ueberschreiten der Streckgrenze infolge Querschnittsverminderung eine Trennung des Eisens vom Beton noch vor der Erreichung der möglichen Haftfestigkeit eintreten. Ueber die Mörschschen Versuche vgl. Mörsch, Der Eisenbetonbau, 3. Aufl., sowie Beton u. Eisen 1903 S. 273.

Tafel der zulässigen Spannungen

	Preussische Bestimmungen 1907	Vorläufige Leitsätze des Deutschen Betonvereins 1904	Oesterreichische Regierungsvorschriften 1908
Elastizitätsverhältnis n	15	15	15
Biegungs- { Druckspannung σ_b in kg/qcm Zugspannung σ_z in kg/qcm }	$\frac{1}{6}$ der Druckfestigkeit	40 bis 50	Mischung 1:3 = 40 " 1:4 = 36 " 1:5 = 32
	$[\frac{2}{3} \text{ der Zugfestigkeit oder } \frac{1}{10} \text{ der Druckfestigkeit}]$	—	Mischung 1:3 = 24 " 1:4 = 23 " 1:5 = 21,5
Schubspannung τ_0 in kg/qcm	4,5 oder $\frac{1}{5}$ der Schubfestigkeit	4,5	Mischung 1:3 = 4,5 " 1:4 = 4,5 " 1:5 = 3,5
Haftspannung τ_1 in kg/qcm	$\tau_1 = \tau_0$	7,5	Mischung 1:3 = 5,5 " 1:4 = 5,5 " 1:5 = 4,5
Stützen-Druckspannung σ_b in kg/qcm	$\frac{1}{10}$ der Druckfestigkeit	35	Mischung 1:3 = 28 " 1:4 = 25 " 1:5 = 22
Zug- und Druckspannung des Flußeisens σ_e in kg/qcm	1000	1000 und mehr	950 (Flußeisestahl = 1000)
Bemerkungen:		Geforderte Mindestdruckfestigkeit = 180 bis 200 kg/qcm (nach 28 Tagen)	Bei anderen Mischungsverhältnissen sind die zulässigen Spannungen durch geradlinige Einschaltung zwischen die genannten Werte zu bestimmen.

*) Die untere Grenze ist anzunehmen, wenn der Durchmesser der Längseisen-
einlagen gleich $\frac{1}{10}$ der kleinsten Querschnittsabmessung des Bauteiles beträgt und der
Abstand der Quereinlagen dieser Abmessung entspricht. Die obere Grenze wird gewählt,
wenn der Durchmesser der Längseisenlagen nur $\frac{1}{20}$ der kleinsten Querschnittsabmessung
und der Abstand der Quereinlagen $\frac{1}{3}$ dieser Abmessung beträgt.

verschiedener Eisenbeton-Vorschriften.

Französische Bestimmungen 1906	Englische Bestimmungen 1907	Schweizerische Vorschriften 1909 (Schweiz. Kommission des armierten Betons)	Ungarische Bestimmungen 1909 (Ungar. Ing.- und Arch.-Verein)
8 bis 15, je nach Dmr. der Längseisen und Abstand der Quereinlagen *)	15	a) Biegung: für die Zug-eisen = 20, für die Druckeisen = 10, b) Zentrischer u. exzentrischer Druck = 10	15
$\frac{28}{100}$ der Würfel-festigkeit ($\frac{60}{100}$ bei umschnürtem Beton)	42 oder $\frac{1}{4}$ der Druckfestigkeit	a) Druck in Rippenplatten = 40, b) Druck in Balken recht-eckigen Querschnitts und in Balkenrippen in Nähe der Stützen = 70 [$40 + 0,05 (1200 - \sigma_{\text{Eisen}})$] **)	45 (mindestens 300 kg Zement für 1 cbm fertigen Beton)
—	—	a) Biegung: — b) exzentrischer Druck = 10 (am Rande)	—
$\frac{1}{10}$ der zulässigen Druckspannung	4,2	4,0	5,0
$\frac{1}{10}$ der zulässigen Druckspannung	7,0	—	6,0
$\frac{28}{100}$ der Würfel-festigkeit ($\frac{60}{100}$ bei umschnürtem Beton)	35 oder $\frac{1}{5}$ der Druckfestigkeit	a) Zentrischer Druck 35, b) exzentrischer Druck (in der Schwerachse) 35, exzentrischer Druck (am Rande) 45	36, wenn Biegungs-beanspruchung nicht berücksichtigt ist, 45, wenn Biegungs-beanspruchung berücksichtigt ist, 45 bei zentrischem Druck, 50, wenn alle gleich-zeitig auftretenden Wirkungen berück-sichtigt sind.***)
$\frac{1}{2}$ der Elastizitäts-grenze (bei Stößen $\frac{4}{10}$ dieser Spannung)	1050 oder $\frac{1}{2}$ der Elastizitäts-grenze	1200	1200
Bei Bauteilen, die wechselnden Be-anspruchungen und Stößen ausgesetzt sind, sollen die zu-lässigen Spannun-gen bis um 25 vH ernäfsigt werden.	Geforderte Mindestdruck-festigkeit = 170 kg/qcm (nach 28 Tagen).		

**) σ_{Eisen} = größte Zugspannung des Eisens. Bei genauer Berücksichtigung des Temperatureinflusses und der Schwinderscheinungen sind gestattet:

$$\sigma_b = 70 \text{ kg/qcm und } \sigma_e = 1500 \text{ kg qcm.}$$

***) Die zulässigen Stützendruckspannungen sind nur dann gültig, wenn

$$\frac{\text{freie Knicklänge}}{\text{kleinere Querschnittsdimension}} \leq 15.$$

wirkung ist ausgeschlossen. (Feuer- und Frostproben von Bouniceau und von Wayss und Freytag.)

Nach Versuchen beträgt für Portlandzementbeton die Ausdehnungswertziffer für 1° C etwa 0,0000137; für Flufseisen ist sie etwas kleiner, etwa 0,0000118. Bei Wärmeabnahme zieht sich also der Beton mehr zusammen als das Eisen, bei Wärmezunahme das Eisen mehr als der Beton, so daß — wie beim Erhärtungsvorgang — entgegengesetzte Spannungen in den beiden Baustoffen auftreten. Für das Abbinden an der Luft ist demnach eine Wärmezunahme günstiger als eine Wärmeabnahme, weil in ersterem Fall die Druckspannungen des Betons die sich bildenden Zugspannungen aufheben können.

g. Elastizität und Dehnungsfähigkeit.

Das Elastizitätsmaß für Druck ist um so größer, je fetter die Mischung, je geringer der Wasserzusatz und je älter der Beton ist. Außerdem nehmen die Elastizitätsmaße für Druck wie für Zug bei wachsenden Beanspruchungen ab, namentlich bei Zug. Angaben hierüber s. Bd. I 4. Abschnitt, S. 519. Nach den preussischen Bestimmungen ist für gewöhnlich das Elastizitätsmaß des Eisens zu dem 15fachen von dem des Betons anzunehmen; also

$$n = \frac{E_e}{E_b} = 15,$$

entsprechend einem Elastizitätsmaß des Betons von

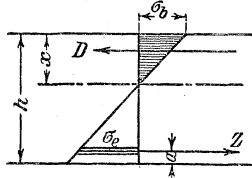
$$\frac{2\,150\,000}{15} = 143\,400 \text{ kg/qcm.}$$

4. Berechnung der Platten.

a) Einfache Bewehrung (Eisen nur in Zugzone).

Voraussetzungen: Anwendung der Navierschen Biegungsformel (vgl. I. Bd., S. 502 u. 540); Druckelastizitätsmaß des Betons als unveränderlich angenommen; Anwendung des Hookeschen Elastizitätsgesetzes, sämtliche Zugspannungen der Platte werden von den Einlagen aufgenommen.

Für die Bestimmung der größten Beanspruchungen im Beton und Eisen ist es zunächst erforderlich, die genaue Lage der Nulllinie zu ermitteln (vgl. Abb. 16):



h sei die Gesamtstärke der Platte in cm,
 a der Abstand der Eiseneinlage vom unteren Rande in cm (gemessen vom Schwerpunkt des Eisenquerschnitts),
 x der Abstand der Nulllinie von Plattenoberkante in cm,
 b die in Rechnung gestellte Plattenbreite in cm,

σ_b bzw. σ_e die größten Spannungen im Beton und im Eisen, ausgedrückt in kg/qcm, und
 f_e der gesamte in b cm Breite vorhandene Eisenquerschnitt in qcm.
 Druckkraft D = Zugkraft Z .

$$x = \frac{n f_e}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{2 b (h - a)}{n f_e}} - 1 \right).$$

Spannungen kg/qcm		Nutzhöhe ($h - a$) cm	Eisenquerschnitt f_e qcm	Nulllinienabstand x cm
		[Moment M in mkg, Plattenbreite b in m] bei Platten: $\alpha = \sqrt{M}$, $\beta = \sqrt{M}$ „ Plattenbalken: $\alpha = \sqrt{\frac{M}{b}}$, $\beta = \sqrt{M \cdot b}$		$[(h - a) \text{ in cm}]$
σ_e	σ_b			
1000	10	1,270 · α	0,083 · β	0,130 · ($h - a$)
1000	15	0,876 „	0,121 „	0,184 „
1000	20	0,686 „	0,159 „	0,230 „
1000	21	0,659 „	0,166 „	0,239 „
1000	22	0,632 „	0,173 „	0,248 „
1000	23	0,610 „	0,180 „	0,257 „
1000	24	0,588 „	0,187 „	0,265 „
1000	25	0,568 „	0,194 „	0,273 „
1000	26	0,550 „	0,200 „	0,280 „
1000	27	0,534 „	0,207 „	0,288 „
1000	28	0,518 „	0,214 „	0,296 „
1000	29	0,504 „	0,221 „	0,303 „
1000	30	0,490 „	0,228 „	0,310 „
1000	31	0,477 „	0,235 „	0,318 „
1000	32	0,464 „	0,242 „	0,325 „
1000	33	0,453 „	0,248 „	0,331 „
1000	34	0,443 „	0,254 „	0,338 „
1000	35	0,433 „	0,261 „	0,344 „
1000	36	0,423 „	0,267 „	0,351 „
1000	37	0,414 „	0,274 „	0,357 „
1000	38	0,406 „	0,280 „	0,363 „
1000	39	0,398 „	0,287 „	0,369 „
1000	40	0,390 „	0,293 „	0,375 „
1000	41	0,383 „	0,300 „	0,381 „
1000	42	0,376 „	0,306 „	0,387 „
1000	45	0,357 „	0,324 „	0,403 „
900	30	0,474 „	0,264 „	0,333 „
900	35	0,420 „	0,301 „	0,368 „
900	40	0,380 „	0,337 „	0,400 „
900	45	0,348 „	0,373 „	0,429 „
800	30	0,459 „	0,309 „	0,360 „
800	35	0,408 „	0,353 „	0,396 „
800	40	0,367 „	0,397 „	0,429 „
800	45	0,339 „	0,436 „	0,458 „
750	30	0,451 „	0,338 „	0,375 „
750	35	0,401 „	0,385 „	0,412 „
750	40	0,363 „	0,430 „	0,444 „
750	45	0,334 „	0,474 „	0,474 „

$b = 100$ cm. Die Formel lehrt, daß die Lage der Nulllinie wohl von f_e , aber nicht von Art und GröÙe der Belastung abhängig ist.

Zur Bestimmung der gröÙten Beton- und Eisenspannungen setzt man M_{\max} (in cmkg) gleich dem Moment der inneren Kräfte; dann wird:

$$\sigma_b = \frac{2M}{bx \left(h - a - \frac{x}{3} \right)} \quad \text{und} \quad \sigma_e = \frac{M}{f_e \left(h - a - \frac{x}{3} \right)}.$$

Wird eine bestimmte Nutzhöhe ($h - a$) angenommen, so ist bei normaler Plattenstärke (8 bis 12 cm) und gegebenem M_{\max} (in mkg) angenähert

$$f_e = \frac{M}{8(h - a)}.$$

Zu genauerem Entwerfen dient die auf S. 285 gegebene Zahlentafel.*)

Beispiel: Es ist eine Eisenbetonplatte zu entwerfen für einen Raum von 3,50 m lichter Weite. Nutzlast = 390 kg/qm.

Volle Ausnutzung beider Baustoffe ($\sigma_e = 1000$ kg/qcm, $\sigma_b = 40$ kg/qcm). Deckenstärke zu 15 cm angenommen; dann Stützlänge $l = 3,65$ m. Gesamtbelastung für 1 m Plattenbreite

$$Q = (390 + 0,15 \cdot 2400) \cdot 3,65 = 2738 \text{ kg.}$$

$$M_{\max} = \frac{2738 \cdot 3,65}{8} = 1249 \text{ mkg} \quad (\sqrt{M} = 35,3).$$

Nach der Zahlentafel:

$$f_e = 0,293 \cdot 35,3 = 10,34 \text{ qcm} = 14 \text{ Rundeisen von je 1,0 cm Dmr.**}$$

$$h - a = 0,390 \cdot 35,3 = 13,77 \text{ cm}$$

$$h = 13,77 + 0,5 + 1 = \sim 16 \text{ cm.}$$

Ermittlung der Spannungen:

$$q = 390 + 0,16 \cdot 2400 = 774 \text{ kg/qm}$$

$$M_{\max} = \frac{774 \cdot 3,65^2}{8} \cdot 100 = 129\,602 \text{ cmkg.}$$

$$\text{Nulllinienabstand } x = \frac{15 \cdot 11}{100} \left[\sqrt{1 + \frac{200 \cdot 14,5}{165}} - 1 \right] = 5,46 \text{ cm}$$

$$\left(h - a - \frac{x}{3} \right) = 14,5 - 1,82 = 12,68 \text{ cm.}$$

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot 129\,602}{546 \cdot 12,68} = 37,50 \text{ kg/qcm}$$

$$\sigma_e = \frac{129\,602}{11 \cdot 12,68} = 930 \text{ kg/qcm.***}$$

Abb. 17.

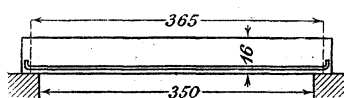
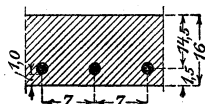


Abb. 18.



*) Ausführliches über Entstehung und Anwendung dieser Tabelle siehe Kersten, Der Eisenbetonbau, Teil I, 8. Auflage. Berlin 1911

**) Der Abstand dieser Einlagen voneinander beträgt hier 7 cm. Als Maximum für dieses Maß kann im allgemeinen $2 \cdot h$ bzw. $2(h - a)$ gelten; es müssen dann aber auch Verteilungsseisen in genügender Menge vorhanden sein.

***) Für den vorliegenden Fall hätte eine Anordnung von Rippen zu einer wirtschaftlicheren Lösung geführt, denn Deckenstärken von 16 cm sind unwirtschaftlich.

b) **Doppelte Bewehrung** (Eisen in Druck- und Zugzone).

Eine Doppelbewehrung findet Anwendung:

- bei wechselweisem Auftreten von positiven und negativen Momenten (z. B. bei Silowänden, Windmauern, Leitungsmasten)
- bei sehr beschränkter Bauhöhe (z. B. bei Fensterstürzen)
- beim Stützenquerschnitt kontinuierlicher Platten bzw. bei Einspannungsquerschnitten, wo die Momente oft größer sind als in Feldmitte.

Dem wirtschaftlichen Vorteil einer geringeren Plattenstärke steht ein bedeutender Mehraufwand an Eisen, also eine Kostenerhöhung als Nachteil gegenüber. Bei geringerer Zueinlage als 0,5 bis 0,6 vH des Gesamtquerschnittes bietet die Doppelbewehrung im allgemeinen keine besonderen Vorteile.

Es bedeute (Abb. 19 u. 20)

- h die Plattenstärke in cm,
- x den Abstand der Nulllinie vom oberen Rande in cm,
- a und a' die Abstände der Eisenlängsachsen von den entsprechenden Betonrändern in cm (a' für die Druckeinlage),
- $h' = (h - a) =$ Abstand der unteren Eisenschwerachse vom oberen Rande in cm,
- f_e und f_e' die Gesamtquerschnitte der gezogenen bzw. gedrückten Eisenstäbe für b cm Plattenbreite (in qcm),
- σ_e und σ_e' die entsprechenden Spannungen der Einlagen in kg/qcm,
- σ_b die Betonspannung in kg/qcm.

Druckkräfte $D_1 + D_2 =$ Zugkraft Z .

Nulllinienabstand

$$x = -\frac{n(f_e + f_e')}{b} + \sqrt{\left[\frac{n(f_e + f_e')}{b}\right]^2 + \frac{2n}{b}[f_e' a' + f_e(h - a)]}.$$

Zur Bestimmung der größten Beton- und Eisenspannungen setzt man wiederum M_{\max} (in cmkg) gleich dem Moment der inneren Kräfte, und es ergibt sich

$$\sigma_b = \frac{M}{\frac{bx}{2} \left(h - a - \frac{x}{3}\right) + n f_e' \frac{x - a'}{x} (h - a - a')};$$

$$\sigma_e = \frac{\sigma_b n}{x} (h - a - x);$$

$$\sigma_e' = \frac{\sigma_b n}{x} (x - a').$$

Abb. 19.

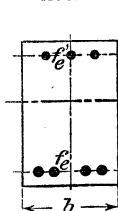
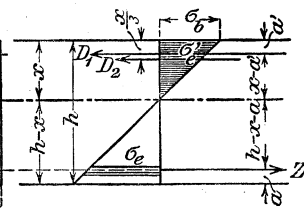


Abb. 20.



5. Berechnung der Plattenbalken.

a) Einfache Bewehrung (Eisen nur in Zugzone).

Es sind 3 Fälle zu unterscheiden (vgl. Abb. 21):

1. die Nulllinie liegt im Plattenquerschnitt,
2. „ „ fällt mit Plattenunterkante zusammen,
3. „ „ geht durch den Steg.

Zu den unter 4a) genannten Bezeichnungen ist noch zu ergänzen:

d = Plattenstärke in cm,

b_1 = Breite des Steges in cm,

b = Rippenteilung bzw.

2. $\frac{1}{6}$ der Balkenlänge in cm (vgl. die amtliche Bestimmung auf S. 274 unter § 14, 6).

Dann herrschen für Fall 1 und 2 gemäß Abb. 22, 23 dieselben Beziehungen, wie unter 4a angegeben. Für Fall 2 ist $x = d$ zu setzen.

Abb. 21.

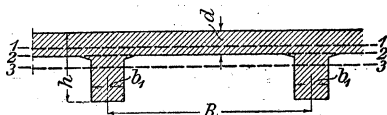


Abb. 22.

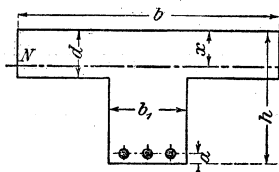


Abb. 23.

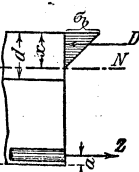
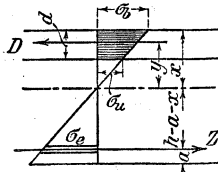


Abb. 24.



Geht dagegen die Nulllinie durch den Steg, so ist noch eine Hilfsgröße y = Abstand der Mittelkraft D von der Nulllinie (vgl. Abb. 24) zu ermitteln. Man findet bei Vernachlässigung der geringen, im Steg auftretenden Druckspannungen:

$$x = \frac{n f_e (h - a) + \frac{d^2 b}{2}}{d b + n f_e},$$

$$y = x - \frac{d}{2} + \frac{d^2}{6(2x - d)},$$

$$\sigma_e = \frac{M}{f_e (h - a - x + y)},$$

$$\sigma_b = \sigma_e \frac{x}{n (h - a - x)}.$$

Für Entwurfsbearbeitungen ist zu bemerken:

1. Plattenbreite b = Rippenteilung B bzw. $\geq 2 \cdot \frac{1}{6}$ Balkenlänge;
z. B. Stützweite 10 m, $B = 4,0$ m; dann $b \geq 2 \cdot \frac{10}{6} = 3,30$ m (also nicht etwa 4,0 m).

*) Wird $x = d$, dann ist $y = \frac{2}{3} d$.

Für verhältnismäßig dünne Platten bei starkem Stegquerschnitt ist besser $b = 2 \cdot l/8$ bzw. $2 \cdot l/10$ zu nehmen.*)

Für Ermittlung des M_{\max} bleibt B maßgebend.

2. Stegbreite $b_1 = 20$ bis 30 cm, für normale Fälle. Ueberall mindestens 2 cm Betonumhüllung der Einlagen. a groß genug annehmen!

3. Ist h groß, dann wenig Eisen; ist h klein, dann viel Eisen (letzteres unwirtschaftlich).

4. Fällt Nulllinie mit Plattenunterkante zusammen ($x = d$), so in der Regel die wirtschaftliche Ausnutzung des Betons am besten. Für Entwurfsbearbeitungen gilt dann die Zahlentafel auf S. 285.

5. Ist $x > d$, so empfiehlt sich, wenn M , h , d und $\sigma_e (= 1000)$ gegeben, für das praktische Entwerfen die Formel

$$f_e = \frac{M}{\sigma_e \left(h - a - \frac{d}{2} \right)}.$$

Abb. 25.

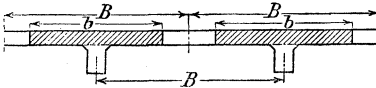
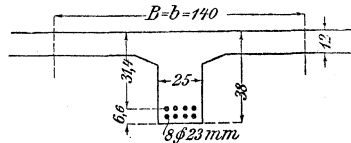


Abb. 26.



Beispiel: Es ist eine Rippendecke ($B = 1,40$ m) zu entwerfen für einen Raum von $7,70$ m Lichtweite. Nutzlast $= 350$ kg/qm.

Wird Stützweite $l = 8,0$ m, $d = 12$ cm und $b = 1,40$ m angenommen, dann Eigengewicht schätzungsweise $= 645$ kg/m. Nutzlast $= 350 \cdot 1,4 = 490$ kg/m.

$$M_{\max} = \frac{(645 + 490) \cdot 8,0^2}{8} = 9080 \text{ mkg} \quad (\sqrt{M} = 95,3).$$

Bei Vollaussnutzung beider Baustoffe ist für $b = 1,40$ m ($\sqrt{b} = 1,18$) nach Tafel S. 285.

$$(h - a) = 0,390 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0,390 \cdot 80,56 = 31,4 \text{ cm}$$

$$x = 0,375 \cdot 31,4 = 11,8 \text{ cm}$$

$$f_e = 0,293 \sqrt{M \cdot b} = 0,293 \cdot 111 = 32,5 \text{ qcm.}$$

Gewählt (vgl. Abb. 26):

$b = 140$ cm, $d = 12$ cm, $h = 31,4 + 6,6 = 38$ cm, $b_1 = 25$ cm, $f_e = 33,2$ qcm (8 Rundisen von je $2,3$ cm Durchmesser).

Da diese Abmessungen auf Grund eines nur schätzungsweise berechneten M_{\max} ermittelt sind, muß zwecks Feststellung der Spannungen M_{\max} neu berechnet werden:

Nutzlast $g_1 = 1,4 \cdot 350 = 490$ kg/m

Eigenlast $g_2 = (1,4 \cdot 0,12 + 0,25 \cdot 0,26) \cdot 2400 = 559$ kg/m

$$M_{\max} = \frac{(490 + 559) \cdot 8,0^2}{8} = 889 200 \text{ cmkg}$$

$$x = \frac{15 \cdot 33,2 \cdot 31,4 + \frac{12^2 \cdot 140}{2}}{12 \cdot 140 + 15 \cdot 33,2} = 11,8 \text{ cm}$$

(einfacher $x = 0,375 \cdot 31,4 = 11,8$ cm, wie oben).

*) Es ist gegebenenfalls empfehlenswerter, nur $b = h$ bis $2h$ einzusetzen. Die Steghöhe wird dann zwar bedeutender, der Eisenquerschnitt aber wesentlich geringer.

Nullinie liegt also noch im Plattenquerschnitt.

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot 839\,200}{140 \cdot 11,8 (31,4 - 3,9)} = 37 \text{ kg/qcm};$$

$$\sigma_e = \frac{839\,200}{33,2 (31,4 - 3,9)} = 920 \text{ kg/qcm}.$$

b) Doppelte Bewehrung (Eisen in Druck- und Zugzone).

Wirtschaftlich nur dann von Vorteil, wenn beschränkte Bauhöhe verfügbar.

Liegt die Nullinie im Plattenquerschnitt oder in Plattenunterkante ($x \leq d$) so gelten die Formeln für doppelt bewehrte Platten (S. 287). Liegt die Nullinie im Balkensteg ($x > d$), so lassen sich die entsprechenden Beziehungen aus Abb. 27 ableiten.

Bei durchlaufenden Plattenbalken treten über den Stützen negative Momente auf. An Stelle des Plattenkörpers von d cm Stärke tritt nunmehr der untere Teil des Balkensteges von nur b_1 cm Breite für die Aufnahme der Druckkräfte (vgl. Abb. 28). Doppelte Einlagen an solchen Stellen stets zu empfehlen, weil zu wenig Druckquerschnitt vorhanden.

Abb. 27.

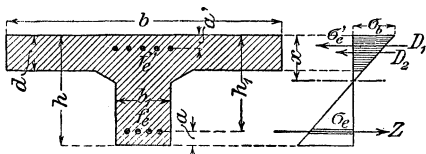
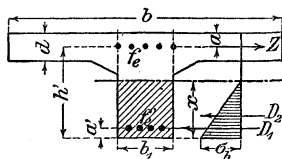


Abb. 28.



6. Berücksichtigung der Betonzugspannungen.

Nach den preussischen Bestimmungen (S. 275) ist als höchste zulässige Zugspannung des Betons $\frac{2}{3}$ der Zugfestigkeit oder (wenn Zugfestigkeitsnachweis fehlt) $\frac{1}{10}$ der Druckfestigkeit zu nehmen.

a) Einfach verstärkte Platten und Plattenbalken mit $x < d$ (Abb. 29).

$$x = \frac{\frac{b h^2}{2} + n f_e (h - a)}{b h + n f_e}$$

$$\sigma_{bd} = \frac{M x}{b h \left[x \left(\frac{h}{2} - a \right) - \frac{h}{2} \left(\frac{h}{3} - a \right) \right]}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{h - x}{x} \sigma_{bd}^*)$$

$$\sigma_e = n \frac{h - a - x}{x} \sigma_{bd}.$$

b) Doppelt bewehrte Platten und Plattenbalken mit $x < d$ (vgl. Abb. 30)

$$x = \frac{\frac{b h^2}{2} + (n - 1) [f_e' a' + f_e (h - a)]}{b h + (n - 1) (f_e' + f_e)}$$

*) Erreicht σ_{bz} einen zu hohen Wert, so muß insbesondere der Eisenquerschnitt vergrößert werden.

$$\sigma_{bd} = \frac{Mx}{\frac{bx^3}{3} + \frac{b(h-x)^3}{3} + (n-1)[f_e'(x-a')^2 + f_e(h-a-x)^2]}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{h-x}{x} \sigma_{bd}, \quad \sigma_e = n \frac{h-a-x}{x} \sigma_{bd}, \quad \sigma_e' = n \frac{x-a'}{x} \sigma_{bd}.$$

Abb. 29.

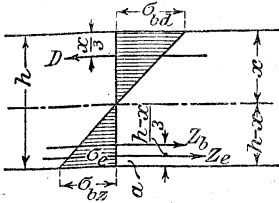
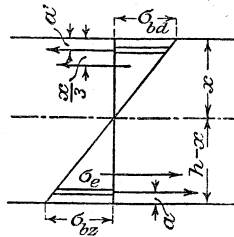


Abb. 30.



(Würde man in die beiden ersten Formeln n statt $(n-1)$ einsetzen, so würden die Werte x , σ_{bd} und σ_{bz} — in allerdings sehr geringem Maße — günstiger ausfallen: σ_e würde auch nur in verhältnismäßig geringem Grade kleiner werden.)

c) Einfach bewehrte Plattenbalken mit $x > d$.

$$x = \frac{b_1 \frac{h^2}{2} + (b-b_1) \frac{d^2}{2} + n f_e (h-a)}{b_1 h + b(b-b_1) d + n f_e}$$

$$y = x - \frac{d}{2} + \frac{d^2}{6(2x-d)}$$

$$\sigma_{bd} = \frac{Mx}{\frac{bd}{2}(2x-d)y + \frac{b_1}{3}[(x-d)^3 + (h-x)^3] + n f_e (h-a-x)^2}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{h-x}{x} \sigma_{bd}, \quad \sigma_e = n \frac{h-a-x}{x} \sigma_{bd}.$$

d) Doppelt bewehrte Plattenbalken mit $x > d$.

$$x = \frac{\frac{b_1 h^2}{2} + (b-b_1) \frac{d^2}{2} + (n-1)[f_e(h-a) + f_e' a']}{b_1 h + 2d(b-b_1) + (n-1)(f_e + f_e')}$$

$$y = x - \frac{d}{2} + \frac{d^2}{6(2x-d)}$$

$$\sigma_{bd} = \frac{Mx}{(x-\frac{d}{2})db y + \frac{b_1}{3}[(x-d)^3 + (h-x)^3] + (n-1)[f_e(h-a-x)^2 + f_e'(x-a')^2]}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{h-x}{x} \sigma_{bd}, \quad \sigma_e = n \frac{h-a-x}{x} \sigma_{bd}, \quad \sigma_e' = n \frac{x-a'}{x} \sigma_{bd}.$$

7. Schub- und Haftspannungen.

Die Feststellung der Schubkräfte quer zur Längsachse (reine Abscherung) einer Platte ist nur in den seltensten Fällen erforderlich:

$$\text{Schubspannung des Betons } \tau_b = \frac{V}{f_b + n f_e}$$

$$[\text{Schubspannung des Eisens } \tau_e = n \tau_b],$$

wenn

V = größte Schubkraft am Auflager

$f_b = b h$ = Betonquerschnitt des Trägers bei V .

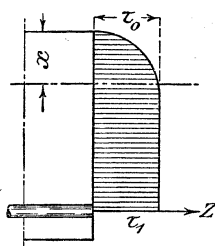
Maßgebend sind aber diejenigen Schubkräfte, welche gleichlaufend zur Längsachse gerichtet sind. Ueber Gestaltung des Schubkraftdiagrammes (bei Nichtberücksichtigung der Betonzugspannungen) vgl. Abb. 31.

Größte Schubanstrengung in der Nullschicht:

$$\tau_0 = \frac{V}{b z}$$

= größte Schubkraft, geteilt durch das Rechteck aus der Querschnittsbreite b und dem Hebelarm der inneren Kräfte z .

Abb. 31.



Gemäß Abb. 31 ist die Schubspannung in der Nullebene gleich der Haftspannung τ_1 des Eisens im Beton. Ist U = Umfang aller unten, in b cm Plattenbreite liegenden Stäbe, so wird

$$\tau_1 = \frac{\tau_0 b}{U} = \frac{V}{U z}$$

Endhaken und Bügel erhöhen die Haft Sicherheit. τ_1 um so kleiner, je dünner die Einlagen (bei gleichem f_e) und je größer der Hebelarm z .

Bei Plattenbalken ist eine Berechnung der Schubspannungen unerlässlich:

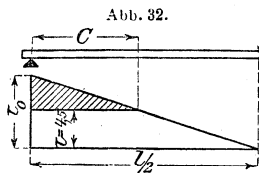
$$\tau_0 = \frac{V}{b_1 (h - a - x + y)} \quad \text{und} \quad \tau_1 = \tau_0 \frac{b_1}{U}.$$

τ_0 wird also um so größer werden, je größer V , aber je kleiner b_1 und h berechnet sind. Soll die zulässige Schub- und Haftspannung (4,5 kg/qcm) voll ausgenutzt werden, so muß $U = b_1$ werden.

Berechnung der Bügel.

Ist der zulässige Wert für τ_0 (= 4,5 kg/qcm) überschritten, so wird die Anordnung von Bügeleisen notwendig, die die Zugeinlagen in ihrer Gesamtheit oder einzeln umfassen und im Druckgurt des Betonkörpers enden.

Schubkraftdiagramm bei gleichmäßig verteilter Belastung gemäß Abb. 32:



$$c = \frac{(\tau_0 - 4,5)}{\tau_0} \cdot \frac{l}{2}.$$

Bügelanzahl i für eine Balkenhälfte, wenn $f c$ = Gesamtquerschnitt aller Bügeleisen und f = Querschnitt einer Bügellege:

$$f c = 6,3 c b_1 (\tau_0 - 4,5) \quad i = \frac{f c}{f}.$$

Berechnung der Stabaufbiegungen.

Der Beton wird bis zu 4,5 kg/qcm auf Schub angestrengt. Die übrigbleibende Schubkraft wird in eine unter 45° gerichtete Zugkraft umgewandelt, welche den aufgebogenen Eisen zugewiesen wird. Die gesamte schiefe Zugkraft ist

$$Z = 0,353 \, c b_1 (\tau_0 - 4,5).$$

Setzt man $\sigma_e = 1000$ kg/qcm und b_1 wie c in m ein, so wird der erforderliche Gesamtquerschnitt der Aufbiegungen

$$f_c' = \frac{Z}{\sigma_e} = 3,5 \, c b_1 (\tau_0 - 4,5).$$

Beispiel: Bei einem Plattenbalken von $l = 7,0$ m Spannweite und $b_1 = 0,30$ m Stegbreite ist τ_0 zu 8 kg/qcm gefunden worden. $f_e = 8$ Rundeisen von je 2,5 cm Dmr.

$$\text{Bügelberechnung: } c = \frac{8,0 - 4,5}{8,0} \cdot \frac{7}{2} = 1,53 \text{ m}$$

$$f_c = 6,3 \cdot 1,53 \cdot 0,30 (8,0 - 4,5) = 10,12 \text{ qcm.}$$

Legt man gemäß Abb. 8 um die Stäbe ein Bügelblech 20/3 mm, so ist

$$f = 2 (2,0 \cdot 0,3) = 1,2 \text{ qcm}$$

$$\text{Anzahl } i = \frac{10,12}{1,2} = 9 \text{ Stück.}$$

[Am Auflager engere Bügelteilung als nach der Balkenmitte hin.]

Stabaufbiegung: c wie oben = 1,53 m

$$f_c' = 3,5 \cdot 1,53 \cdot 0,30 (8,0 - 4,5) = 5,62 \text{ qcm.}$$

Es werden 2 Stäbe aufgebogen; dann ist

$$\sigma_e = \frac{Z}{i f} = \frac{0,353 \cdot 30 \cdot 153 (8,0 - 4,5)}{9 \cdot 82} = 578 \text{ kg/qcm.}$$

Haftspannung der unteren 6 Einlagen

$$\tau_1 = \frac{8,0 \cdot 30}{6 \cdot 7,85} = 5,1 \text{ kg/qcm.}$$

Da außerdem noch Bügel und Endhaken vorgesehen werden, kann man τ_1 als zulässig erachten. Es ist im allgemeinen vorteilhaft, den Bügeleisen etwa 50 vH und den Aufbiegungen — ihrer größeren Zweckmäßigkeit wegen — etwa 85 vH der aufzunehmenden Schubkraft zuzuweisen: $f_c = f_c' = \sim 3 \, c b_1 (\tau_0 - 4,5)$.

Mörsch stellt auf Grund einer größeren Reihe von Versuchen an frei aufliegenden Plattenbalken folgende Schlussfolgerungen fest:*)

1. Am Auflager tritt weder ein Abscheren in senkrechter noch in wagerechter Richtung ein, sondern die Wirkung der Schubkräfte kommt in schief gerichteten Rissen in der Nähe des Auflagers zum Ausdruck. In diesen Rissen wird die Zugfestigkeit des Betons infolge schiefer Hauptspannungen überwunden.

2. Abgebogene Eisen sind besonders vorteilhaft, da solche ohne besonderen Aufwand eine größere Bruchlast gewährleisten. Gute Endhaken erhöhen die Bruchlast und machen die Berechnung der Haftspannung überflüssig.

3. Die Bügel erhöhen ebenfalls die Tragfähigkeit, indem sie durch ihre Zugfestigkeit einer Zerstörung der Enden entgegenwirken. Sie haben zumeist nur eine untergeordnete statische Bedeutung. Sie sichern aber den Zusammenhang des Steges mit der Deckenplatte für den Fall, daß Unterbrechungen beim Betonieren vorkommen.

4. Beim Entwerfen muß die Haftspannung an den unten liegenden Eisen berücksichtigt werden. Nur an den unteren geraden Eisen konnte ein Gleiten beobachtet werden. Es empfiehlt sich, die schiefen Zugspannungen am Auflager durch die abgebogenen Eisen ganz aufzunehmen, trotzdem Bügel auf die ganze Länge einzulegen und die Endhaken der geraden Stangen wirksam auszugestalten.

Luft (Nürnberg) liefert durch eingehende Versuche den Beweis, daß die Bügelbewehrung auch in Verbindung mit Stabaufbiegungen wirksam ist und daß man bei solcher Anordnung der Schubkräfte ganz absehen kann. Luft gibt — entgegen der Mörschschen Auffassung — den Bügeleisen den Vorzug.

*) Mörsch, Der Eisenbetonbau, 3. Aufl.

Schüle*) stellt auf Grund eingehender Untersuchungen von Eisenbetonbalken fest, daß das Aufwärtsbiegen eines Teils der Stangen nicht allein den Vorteil hat, durch Bildung eines Hängewerks die unmittelbare Uebertragung eines Teils der Scherkraft zu gestatten, sondern ebenfalls weitere Betontelle am Auflager zur sicheren Verankerung der Eisen heranzuziehen.

C. Bach**) kommt zu folgenden Ergebnissen: Bei Balken mit Bügeln bilden sich die ersten Risse fast immer da, wo Bügel einbetoniert sind. Die Entstehung von Längsrissen an der unteren Balkenfläche in den äußeren Balkenteilen wird durch das Einlegen von Bügeln hinausgeschoben. Der Gleitwiderstand ist beim Vorhandensein von Bügeln um 22 vH größer ermittelt worden als beim Nichtvorhandensein solcher. Unter sonst gleichen Verhältnissen ist die Höchstlast der Balken mit Bügeln wesentlich größer als bei den Balken ohne Bügel.

8. Berechnung der Stützen.

a. Zentrische Belastung; Untersuchung auf Druck.

Die Druckwirkung einer Kraft P erstreckt sich sowohl auf den Betonquerschnitt als auch auf die Querschnitte der Einlagen. Bei zentrisch wirkendem P kann σ_e niemals den zulässigen Höchstwert erreichen.

$$\sigma_b = \frac{P}{f_b + n f_e},$$

$$\sigma_e = n \sigma_b,$$

wenn f_b = Querschnitt der gedrückten Betonfläche und f_e = gesamter Eisenquerschnitt.

b. Zentrische Belastung; Untersuchung auf Knicken.

Zur Berechnung der Stützen auf Knicken ist die Eulersche Formel (vgl. I. Bd. 4. Abschn., S. 533) anzuwenden. Setzt man:

Sicherheitsgrad $s = 10$,

Elastizitätswert $E_b = 140\,000$ kg/qcm,

$n = 15$,

Trägheitsmoment $J_{\min} = J_b + 15 J_e$

und drückt man l in m und P in t aus, so wird

$$P = \frac{0,014 (J_b + 15 \cdot J_e)}{l^2}.$$

Bei Berechnung des Wertes J_e sind die äquatorialen Trägheitsmomente der einzelnen Eisenquerschnitte ihrer Geringfügigkeit wegen nicht in Rechnung zu bringen.

Ferner ist zu untersuchen, ob auch die Eiseneinlagen an sich knicksicher sind. Auf Grund der in den preussischen Vorschriften enthaltenen hierauf bezüglichen Bestimmungen (vgl. S. 274) wird gemäß Abb. 33

$$l'_{\max} = 132,3 \frac{d}{\sqrt{\sigma_b}}.$$

Je näher die Bügel zusammenliegen, um so größer wird die Bruchlast. Zweckmäßig sind Entfernungen von 25 bis 40 cm.

*) Schüle, Resultate der Untersuchung von Eisenbetonbalken, Mitteilungen der eidgen. Materialprüfungsanstalt am Schweiz. Polytechnikum in Zürich, 12. Heft, 1907.

**) C. Bach, Versuche mit Eisenbetonbalken, Mitteilungen über Forschungsarbeiten des Vereins deutscher Ingenieure, Heft 45 bis 47, 1907.

c. Entwurfsbearbeitung bei zentrischer Belastung.

Gegeben P und l . Mindestseitenlänge $= l/18$ cm. Dann ist

$$f_e = \frac{P - \sigma_b f_b}{n \sigma_b},$$

$$f_b = \frac{P - n \sigma_b f_e}{\sigma_b}.$$

Bei quadratischem Querschnitt mit 1,75 vH Eisengehalt ist

$$f_b = \sim 31 P \text{ und}$$

$$f_e = \sim 0,55 P$$

(P in t, $\sigma_b = 25$ kg/qcm, f_b und f_e in qcm).

Beispiel: $P = 25$ t, $l = 4,5$ m; dann ist

$$f_b = \sim 31 \cdot 25 = 775 \text{ qcm},$$

$$b = \sqrt{775} = 28 \text{ cm.}$$

$$f_e = \sim 0,55 \cdot 25 = 13,75 \text{ qcm}$$

$$= 4 \text{ R.-E. für 21 mm Dmr.}$$

Dann ist die Betonbeanspruchung

$$\sigma_b = \frac{25 \cdot 000}{28^2 + 15 \cdot 13,84} = 25,2 \text{ kg/qcm.}$$

Beispiel: $P = 20$ t, $l = 4,0$ m.

$$b = l/18 = 23 \text{ cm}$$

(Untersuchung auf Knicken nun nicht mehr nötig!)

$$f_e = \frac{20 \cdot 000 - 25 \cdot 23^2}{15 \cdot 25} = 18,1 \text{ qcm}$$

$$= 4 \text{ R.-E. für 24 mm}$$

$$\sigma_b = \frac{20 \cdot 000}{23^2 + 15 \cdot 18,08} = 25 \text{ kg/qcm.}$$

Abb. 34.

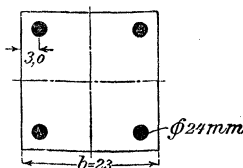


Abb. 35.

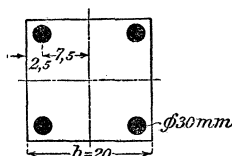
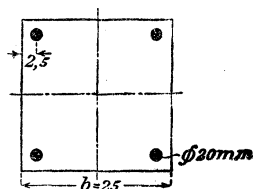


Abb. 36.



Es soll an Beton gespart werden:

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$f_e = \frac{20 \cdot 000 - 25 \cdot 20^2}{15 \cdot 25} = 26,7 \text{ qcm} = 4 \text{ R.-E. von } d = 3,0 \text{ cm.}$$

Die Stütze ist knicksicher; denn es ist

$$P = \frac{0,014}{16} \left(\frac{20^4}{12} + 15 \cdot 28,3 \cdot 7,5^2 \right) = 32 \cdot 540 \text{ kg.}$$

Es soll an Eisen gespart werden:

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$f_e = \frac{20 \cdot 000 - 25 \cdot 25^2}{15 \cdot 25} = 11,7 \text{ cm} = 4 \text{ R.-E. von } d = 2,0 \text{ cm.}$$

d. Exzentrische Belastung.

Bei symmetrischem Querschnitt berechnet sich die Kernweite K zu

$$K = \frac{J_s \cdot 2}{F h} = \frac{b h^2}{6 F} + \frac{2 n F e \left(\frac{h}{2} - a \right)^2}{h F}.$$

$F' = b h + n (f_e + f_e') =$ Gesamtquerschnitt in qcm,

$f_e, f_e' =$ Querschnitt der gedrückten bzw. gezogenen Einlagen in qcm,

$F_e = f_e + f_e'$ in qcm,

$a, a' =$ Abstand der Einlagen f_e und f_e' von der gedrückten bzw. gezogenen Seite in cm,

$k =$ Kernweite in cm,

$e =$ Exzentrizität, ausgedrückt in cm,

$$\frac{E_b}{E_e} = n = 15,$$

$x =$ Abstand der Nulllinie von der Druckseite in cm,

$J_s =$ Trägheitsmoment, bezogen auf die Schwerachse, in cm⁴,

$\sigma_d, \sigma_s =$ Beanspruchungen des Betons in kg/qcm,

$\sigma_e, \sigma_e' =$ „ „ Eisens „ „

a) Angriffspunkt von P liegt in Kernweite ($e < k$ und $x > h$) (Abb. 37).

$$\sigma_d, \sigma_s = \frac{P}{F} \pm \frac{P e h}{2 J_s},$$

σ_e und σ_e' können niemals den zulässigen Höchstwert erreichen.

b) Angriffspunkt von P liegt an der Kerngrenze ($e = k$ und $x = h$).

$$\sigma_d = \frac{2P}{F},$$

$$\sigma_e = n \sigma_d \frac{h - a}{h}, \quad \sigma_e' = n \sigma_d \frac{a}{h}.$$

Abb. 37.

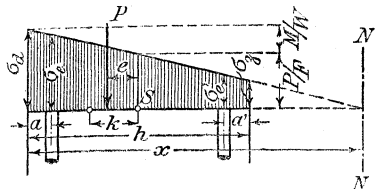
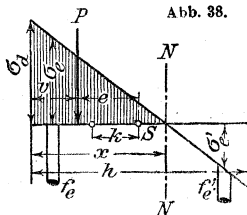


Abb. 38.



c) Angriffspunkt von P liegt außerhalb der Kernweite ($e > k$ und $x < h$), Abb. 38.

$$\sigma_e = n \sigma_d \frac{x - a}{x},$$

$$\sigma_e' = n \sigma_d \frac{h - x - a}{x},$$

$$P = \sigma_d \left[\frac{b x}{2} + \frac{n f_e}{x} (2 x - h) \right].$$

Für die Ermittlung des Nulllinienabstandes x ergibt sich folgende Beziehung:

$$\frac{b}{3 n F_e} x^3 \mp \frac{b v}{n F_e} x^2 + (h \mp 2 v) x = 2 a^2 + h^2 - h (2 a \pm v).$$

Liegt P innerhalb des Querschnitts, so gelten die oberen Vorzeichen; liegt P dagegen außerhalb des Querschnitts (z. B. bei Konsolen), so gelten die unteren Vorzeichen.

IV. ANWENDUNGEN IM HOCH- UND TIEFBAU.

1. Decken.

Decken in Eisenbeton namentlich für Geschäfts-, Fabrik- und öffentliche Gebäude vorteilhaft. Für Wohnhausbauten noch nicht so in Gebrauch (vorstehende Rippen oft unerwünscht, Verkleidungen zur Erzielung einer ebenen Untersicht — vgl. Abb. 101 — aber teuer).

Allgemeine Vorteile, wie auf S. 265 angegeben. Außerdem Steifigkeit gegen Durchbiegen, Sicherheit gegen Einbruch, gute Gebäudeverankerung, letzteres wichtig für Bergwerks- und Erdbebengegenden

Wärmeschutz und Schallsicherheit durch Sandschüttung, Schlacken- oder dgl. Zwischenlagen, Korksteinbelag oder durch Hohlkörper zu erreichen. Im allgemeinen sind Eisenbetondecken nicht schalldurchlässiger als andere Decken (Hauptleiter des Schalls sind die Mauern).

Belag: 2 bis 3 cm starker Zementestrich mit glatter oder geriffelter Oberfläche (Ausdehnungsfugen); Asphalt, besonders im Freien (keine Ausdehnungsfugen); Linoleum, auf Gipsestrich, Korkstein oder unmittelbar auf dem Beton; Asbest, Steinholz, Xylolith u. dgl.; Holzboden auf eingelassenen Polsterhölzern, Parkett in Asphalt oder auf Blindboden.

Verputz: Gewöhnlicher Weiskalkmörtel (1 T. Kalk und 2 bis 3 T. Sand) oder verlängerter Mörtel (1 T. Kalk und 1 T. Zement und 4 bis 6 T. Sand) oder einfaches Weissein (für Hallen, Arbeitsräume, billig). Decken in untergeordneten Räumen auch ohne Verputz. Bekleidung mit Duroplatten u. dgl.

Bis etwa 3,0 m — bei üblichen Nutzlasten — einfache Platten gemäß Abb. 1 bis 5 am zweckmäßigsten. Einlagen aus Rundeisen, Streckmetall

Abb. 39.

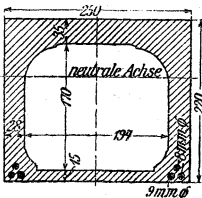
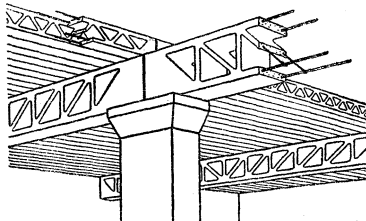


Abb. 40.



oder Sondereisen. Bauweisen Monier, Koenen, Viktoria usw. Bei annähernd quadratischem Grundriss kann durch kreuzweise Bewehrung eine geringere Plattenstärke erzielt werden (vgl. S. 274, § 14, 7). Von 3 bis

4 m an sind in der Regel Plattenbalken (Abb. 8 u. 9) vorteilhafter; Bauweisen Hennebique (Abb. 13), Pohlmann (Bulbeisen), Leschinsky, Möller u. a. m. Kassettendecken mit sich kreuzenden Rippen bieten architektonische Vorteile. Für Wohnräume leichte Rabitzdecken zwecks Gewinnung einer ebenen Untersicht (Schalldämpfung). Vrgl. auch Abb. 101.

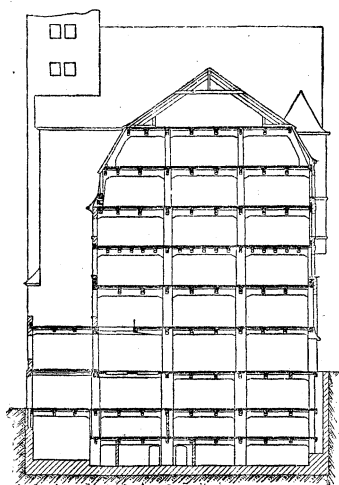
Gewölbte Tragdecken (Abb. 10 u. 11) im allgemeinen nicht so gebräuchlich.

Decken mit eisernen I-Trägern nur in besonderen Fällen zu empfehlen. Freiliegende Träger bzw. Unterflansche (Abb. 10b) sind zum Schutze gegen Feuer zu umkleiden.

Hohlkörperdecken mit ebener Untersicht sind wärme- und schallsicher (Bauweisen Züblin, Wayss u. a. m.). Fabrikmäßige Herstellung der eigentlichen Hohlkörper aus gebranntem Ton, Schlackenbeton o. dgl.

Abb. 41. *)

Querschnitt eines mehrstöckigen Geschäftshauses (Graf-Eberhard-Bau in Stuttgart); insgesamt 12 000 qm Decken für 1500 kg/qm Nutzlast. Fundamentplatte in Stampfbeton mit kreuzweiser I-Profilbewehrung.



Viele dieser Deckenarten bestehen aus aneinandergelegten, in der Fabrik hergestellten Einzelbalken, machen also die Schalrüstung am Bauplatz entbehrlich. Weitere Vorteile: kurze Bauzeit, Herstellung eines Arbeitsbodens, leichte Unterbringung von Leitungen aller Art.

Bauweise Siegwart zeigt maschinell erzeugte Hohlbalken (Abb. 39 u. 104), die nebeneinander verlegt und vergossen werden. Nach Bauweise Visintini werden Fachwerkträger (Abb. 40) verwandt, die mittels hölzerner Formen und eiserner Kerne in umgelegtem Zustand (Öffnungen nach oben) gefertigt werden.

Die Zylinderstegdecke von Herbst hat Betonstege (mit Bandedeiseinlage) als Tragglieder und Zylinder aus Schlackenbeton oder gebranntem Ton als Füllungslieder.

2. Stützen.

Vrgl. Grundform und Bemerkung auf S. 272. Einlagen sowohl für Hauptdruckspannungen als auch für Nebenbiegungsspannungen. Querschnitt zumeist rechteckig (quadratisch), weil einfachste Schalung (vrgl. Abb. 42).

Verschiedene Bauweisen, wie Hennebique, Wayss usw., unterscheiden sich nur in der Bügelausführung. Am gebräuchlichsten sind Rundeisenbügel.

*) Die Abb. 39, 41, 42, 48, 49, 50, 53, 54, 58, 59, 61, 72 bis 76, 101, 102, 104 veranschaulichen Ausführungen der Firma Dyckerhoff u. Widmann, A.-G.

Stützen mit lotrechten Einlagen und spiralförmiger Umschnürung sind schlanker und zeigen mehr als doppelt so große Tragfähigkeit als Stützen ohne Spiralumschnürung (vgl. die Bestimmung, S. 275).

3. Treppen.

Vorteile: vollkommene Feuersicherheit, weshalb Herstellung besonders abgetrennter Treppenhäuser nicht nötig; unbegrenzte Formgebung (vgl. Abb. 43), weite Auskragungen.

Fabrikmässig hergestellte Trittstufen aus Eisenbeton billiger als Stufen von Haustein. Belag aus Granit, Marmor, Asphalt, Zement, Steinholz, Linoleum u. dgl. Schutz der Kanten durch Vorstossschienen. Bewehrung nur bei grösseren Längen nötig. Bei freitragenden (einseitig

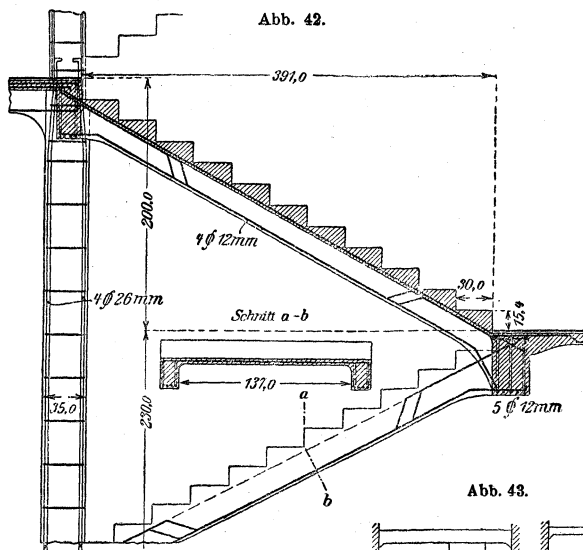
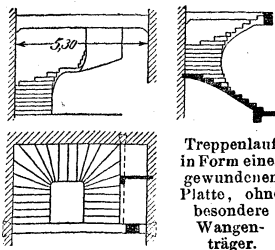


Abb. 43.

eingespannten) Stufen liegen die Einlagen oben, bei beiderseits eingebundenen Stufen dagegen unten. Einspannungslänge 20 bis 30 cm.

Ebene Platte zwischen eisernen I- oder C-Wangen oder gewölbte Platte zwischen eisernen Podestträgern. Aufsattung der Stufen in Stampfbeton oder Ziegelmauerwerk. Eisernen Träger zwecks Feuersicherheit zu ummanteln.

Treppenläufe mit **eisenverstärkten** Wangen- und Podestträgern, in Schaltrüstung hergestellt. Treppenlauf gerade oder gewunden. Stufen



Treppenlauf in Form einer gewundenen Platte, ohne besondere Wangen-träger.

in der Regel aufbetoniert. Wangen- wie Podestträger als Plattenbalken zu berechnen.

4. Dächer und Hallenbauten.

Hauptvorteile der Eisenbetondächer: vollkommene Feuersicherheit, Ausnutzung der weiten, luftigen Dachgeschosse zu Ateliers, Arbeitsstätten, Lagerräumen u. dgl. Abdeckung durch Pappe, Ruberoid, Pappolein, Schiefer, Metall (auf Holzschalung) usw. Isolierung durch Holzzement, Kork, Asphaltfilz.

Platten-Dachhaut nach Bauweise Monier für eiserne Dachbinder sehr im

Abb. 44.

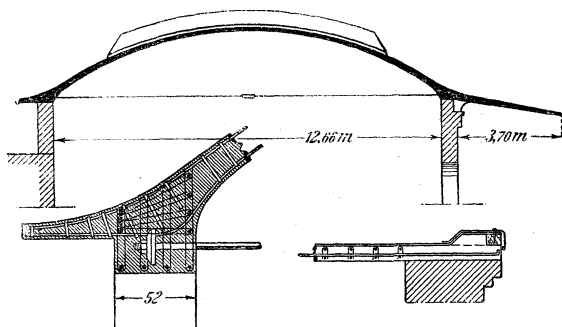


Abb. 45.

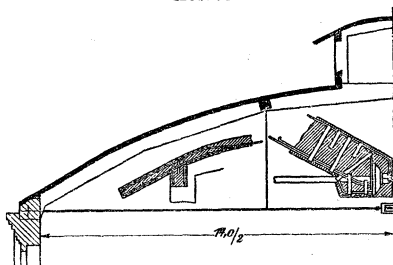


Abb. 46.

Shedbinder mit eingefügtem Oberlicht (vgl. auch Abb. 105).

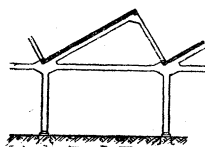


Abb. 47.

Shedbinder mit aufgesetztem Dreieckoberlicht (bessere Lichtwirkung, unabhängig von der Himmelsrichtung).



Gebrauch. Bei größeren Dachflächen sind Ausdehnungsfugen vorzusehen. Feuerschutz eiserner Binder durch angehängte Monier- oder Rabitzgewölbe.

Balkendächer, Mansardendächer, einheitlich in Eisenbeton, also ohne Verwendung eiserner Träger (Abb. 62). Bei spitzen Dachformen auch Aufbau in Holz (Abb. 41). Lichtzuführung durch Laternen, eingefügte Fenster oder Dreieck-Oberlichter. Horizontal-

schub kann durch verstärkte Einlage der Decke des oberen Stockwerkes aufgenommen werden.

Selbst **Fachwerkbinder** in Eisenbeton kommen mehr und mehr in Aufnahme (allerdings teure Schalung)

Abb. 48.

Straßenbahnwagenhalle für 6 Aufstellgleise; Binderentfernung 5,55 m; Wandfachwerk in Eisenbeton, unten 12 cm starke Backsteinausfüllung, oben verglast.

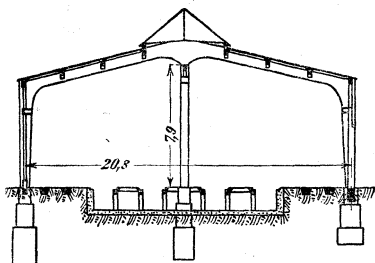


Abb. 49.

Ausstellungshalle von 26 m Breite und 7 m Binderteilung. (Zwei übereinandergesetzte steife Rahmen; Dachspitze in Holz.)

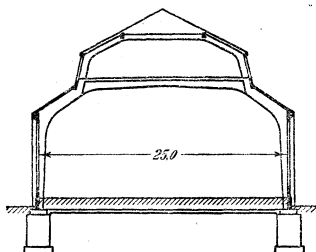


Abb. 50.

Bogenbinder des Längsschiffes der evangel. Garnisonkirche in Ulm; Binderentfernung 7.7 m, Gründung auf Straußpfählen; Füllmauerung der Umfassungswände zwischen Eisenbetonrahmenwerk.

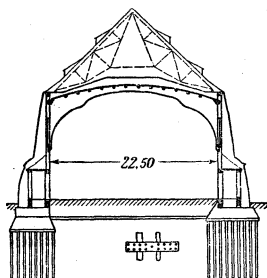


Abb. 51.

Dreischiffige Halle mit Bogendach (ohne Zuganker) über dem Mittelschiff; Binderentfernung 5,55 m.

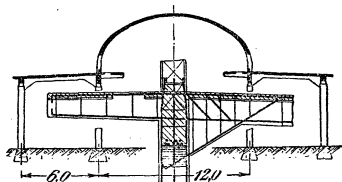
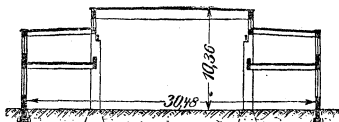


Abb. 52.

Dreischiffige Fabrikhalle mit Kranstützen und Zwischendecken in den Seitenschiffen.



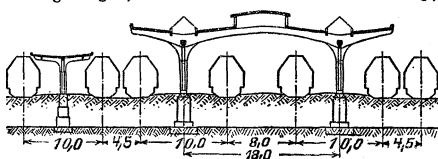
Gewölbe in Eisenbeton, nach Monierart bewehrt, bis etwa 20 m freitragend; $1/8$ bis $1/6$ Pfeilhöhe. Der Horizontalschub wird in der Regel durch eiserne Zugbänder (bisweilen von Beton umhüllt oder schützenden Rabitzdecke verwandt) zuführung durch Dreieckoberlichter. seitliche weite Auskragung; Abb. 45

auch zur Anhängung einer feuer-aufgenommen (Abb. 44), Licht-Abb. 44 bemerkenswert durch die durch Laternenaufsatz.

Kuppeln in Form dünner Schalen mit Meridian-Tragstäben und Horizontalringen als Verteilungsstäbe. Horizontalschub durch kräftige Kämpfer-
ringeinlage aufgenommen; also nur senkrechte

Abb. 58.

Einstieglige und zweistieglige Bahnsteighallen; Binderentfernung 10,73 m. (Keine schädlichen Einwirkungen der Lokomotivgase, also keine Unterhaltungskosten; schöne Formgebungen; reichlich Oberlicht und Dunstabzug.)



Hallenbauten in Eisenbeton, in der Regel als Rahmenbinder ausgeführt. Horizontalschub auf die Fundamente übertragen oder durch Zugband aufgenommen. Vgl. die Abb. 46 bis 58.

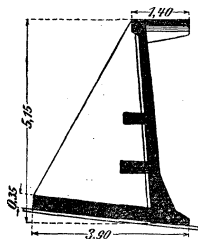
5. Wände und Mauern.

Gebäudemauern (Aufsen- wie Innenwände) in Eisenbeton noch wenig ausgeführt; zwar dünn, leicht, feuer- und einbruchsicher, sowie sich selbst tragend, aber teuer, nicht nagelbar und wärmeleitend. Am besten Rahmenwerk aus bewehrten Säulen und Unterzügen mit leichtem Füllmauerwerk (Back- oder Schwemmsteine, auch Zementdielen). Doppelwände mit Hohlraum oder mit Zwischenfüllung durch schlechte Wärmeleiter. Ausdehnungsfugen zur Verhütung von Rissebildungen.

Bauweisen Monier, Wayss (aufwärts gebogene Tragstäbe), Hennebique (Gerippe von Trag- und Verteilungsstäben mit Bügeln), Prüfs (Mauerwerk in Zementmörtel mit Flacheiseneinlagen), Streckmetall, Rabitz.

Abb. 54.

Ufermauer zum Abschlufs eines Helling auf der Danziger Werft. Auflast (Kranleis) = 1000 kg/qm; niedrigster Wasserstand 2,66 m, höchster Wasserstand 0,11 m unter Maueroberkante.



Einfriedigungsmauern in Eisenbeton billig und dauerhaft. Statt eines durchgehenden Gründungsmauerwerkes genügen Grundsockel für die Pfeiler. Die dazwischengespannten lotrechten Platten tragen sich selbst. Durch fabrikmäßige Herstellung der Einzelteile wird an Schalung gespart und ein späterhin etwa erforderlich werdendes Auseinandernehmen und Versetzen der Mauer ermöglicht.

Stützmauern in Eisenbeton gut in Rutschboden.

1. Ausführungsweise: Starke Mauer- oder Eisenbetonpfeiler mit dazwischengespannten Eisenbetonplatten oder -gewölben. Unten stärkere Wandung und engere Teilung der Bewehrung als oben.

2. Ausführungsweise: Winkelstützmauern gemäß Abb. 54 u. 57, bei welchen das Erdgewicht auf die Fußplatte zur Erzielung der Standsicherheit benutzt wird. Horizontale Versteifungsrippen der Vorderwand nur bei größeren Höhen und bedeutenden Auflasten

zweckmäßig. In gewissen Entfernungen Ausdehnungsfugen in Form von Doppelrippen. Vorderflächen können steinmetzmäßig bearbeitet oder durch verschiedenartigen Verputz belebt werden. Empfehlenswert ist ein Anlauf der Vorderfläche (dann geringere Wandstärken).

6. Gründungen.

Fundamentplatten in Eisenbeton verlangen wenig Bodenaushub, weil ihre Sohle nicht tief liegt. Bei starkem Wasserandrang nimmt man auch eine einzige zusammenhängende Platte für den ganzen Gebäudegrundriss (Abb. 41). Nach Abb. 62 sind die Plattenfelder zu umgekehrten Gewölben ausgebildet, in deren Kämpfern die Säulen und Wände aufsetzen. Abb. 55 zeigt die Plattenfundierung einer eisernen Stütze.

Pfähle aus Eisenbeton, fabrikmäßig hergestellt und fertig angeliefert, in Längs- und Querrichtung gut bewehrt, verlangen besondere Rammen, die fahrbar, dreh- und kippar sind. Sie bieten Vorteile bei tiefliegendem, gutem Baugrund (Ersparnis an Erdaushub, keine Wasserhaltung, unabhängig vom Grundwasserstand), bei Wasser- und Brückenbauten. Querschnitt quadratisch oder polygonal; Einlagen wie bei den Stützen (vgl. Abb. 57), möglichst enge Bügelteilung. Pfahlkopf durch Holz, Blei, Sand o. dgl. gegen die Schlagwirkung geschützt; Pfahlspitze mit stählernem Schuh versehen. Verbindung der Pfahlköpfe mit Banketts aus Eisenbeton gemäß Abb. 56. Abb. 57: Kaimauer mit Spundwand und gepfähler Plattform, auf der sich eine durch Rippen abgesteifte Stützwand — als Fortsetzung der Spundwand — erhebt. Vorn Schutzpfähle. Neuerdings Pfahlgründungen durch z. T. bergmännische Absenkung

Abb. 55.

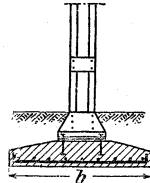


Abb. 58.

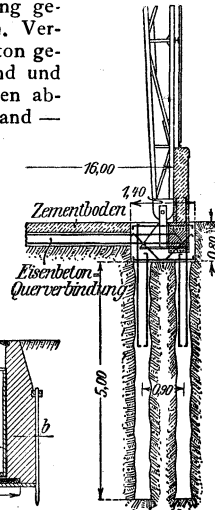


Abb. 56.



Abb. 57.

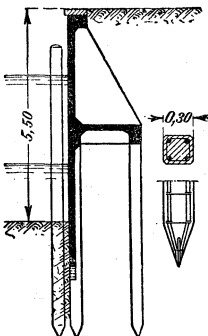
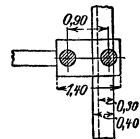
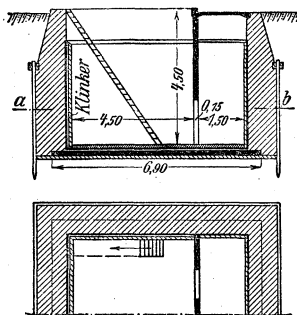


Abb. 59.



von Betonpfählen. Bauweisen Simplex, Reymond, Straufs. Straufspfähle bemerkenswert durch Fortfall jeglicher Rammarbeit und durch die Boden-

kontrolle bei jedem Bohrloch; Abb. 58 zeigt die Gründung einer eisernen Halle, Abb. 50 die Gründung der evangelischen Garnisonkirche in Ulm (284 Straußpfähle von insgesamt 2200 m Länge).

Senkbrunnen aus eisenverstärkten Betonröhren, die späterhin mit Magerbeton ausgefüllt werden.

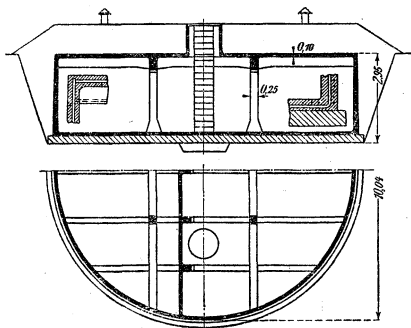
Abb. 59 zeigt eine wasserdichte Kesselhausanlage. Umfassungswände in Stampfbeton, Zwischenwand, Decke und Bodenplatte (auf Magerbetonschicht) in Eisenbeton. Wasserdichter Verputz der Innenmauerung durch Klinkerschicht und derjenige der Bodenplatte durch 8 cm starken Betonboden geschützt.

7. Behälter.

Flüssigkeitsbehälter in Eisenbeton haben zumeist kreisförmige Grundriffsform; rechteckige Behälter erhalten leichter undichte Ecken. Erzielung der Wasserdichtigkeit durch fette Mörtelschicht mit Zementabglättung und Fluatanstrich, durch Asphaltzwischenlagen, auch Anstriche mit Siderosthen, Teer, Testalin, Magnesium-Fluorsilikat u. dgl. Platten-

Abb. 60.

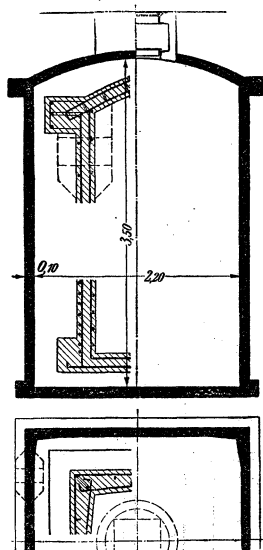
Wasserbehälter von 150 cbm Fassungsraum; Rippendecke an vier Stellen durch Säulen gestützt.



verkleidung gegen Säureeinwirkung. Eindeckung kann durch Rippendecken (Abb. 60) oder durch Gewölbe (Abb. 61) erfolgen. Bei kreisförmigem Grundriss tangentielle Zug- oder Druckbeanspruchung der Wandung. Unten engere Teilung der Einlagen und größere Wandstärke als oben. Bei größeren Wandlängen rechteckiger Behälter sind Vertikalstreben zweckmäßig. Sohle aus Stampf- oder Eisenbeton. Bei größeren Behälteranlagen ist auch auf Ausdehnungsmöglichkeit Bedacht zu nehmen.

Abb. 61.

Quadratischer Behälter für eine Kläranlage; Decke gewölbt; Fassungsraum ~ 16 cbm.



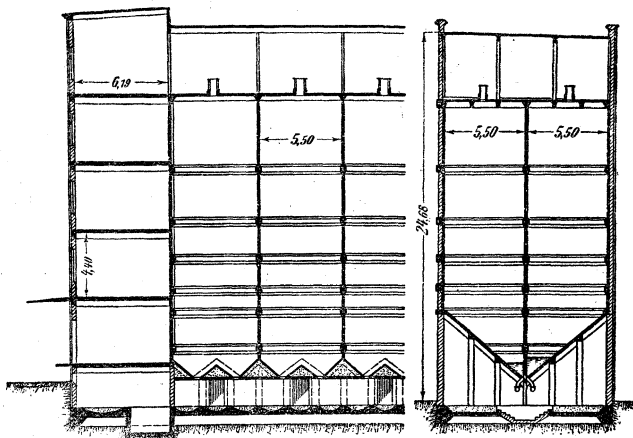
Hochbehälter (Wassertürme) auf turmartigem Unterbau aus Mauerwerk, Eisenbeton-Rahmenwerk mit Ausfüllung oder freistehenden Eisenbeton-

stützen. Verbindung von Schornstein und Wasserbehälter für Fabrikanlagen. Wärmeisolierende Ummantelung des Behälters stets zu empfehlen.

Silos in Eisenbeton für trockene Stückmassen (Sand, Kies, Steinschlag, Kohle, Erze, Asche usw.) oder Getreide. Starke Inanspruchnahme der Wände, weil große Bauhöhe bei möglichst kleiner Bodenfläche. Man unterscheidet großräumige Silos (Kohlenaufbewahrung in Gasanstalten und industriellen Betrieben; Seitenwände als kräftige Stützmauern mit

Abb. 62.

Getreidesilo von 7000 cbm Fassung (Lolat-Eisenbeton, Glogau). 14 Zellen in zwei Reihen angeordnet. Lehmiger Boden bei nur 0,80 m Grundwasserstand, deshalb Plattenfundierung bei 1,6 kg/qcm Bodendruck.



Strebepeilern ausgebildet) und Zellensilos (Aufbewahrung von Getreide; doppelt bewehrte Scheidewände), Auslaufrichter zumeist in Form hängender Pyramiden.

8. Röhren, Kanäle, Durchlässe.

Beton ist genügend widerstandsfähig gegen chemische Einwirkungen der Abwässer, Fäkalien und gegen Reibung von Sinkstoffen, Sand u. dgl. Salzsäure, Salpetersäure, Essigsäure und Kohlensäure sind nicht schädlich, wenn ihr Gehalt $< \frac{1}{10}$ vH. Schädlich wirkt aber heißes Wasser (über 50°), sowie heißer Dampf.*) Auskleidungen mit hartgebrannten Klinkern oder Tonschalen auf Wasserstandshöhe (Knauffsche Platten).

Röhren in Eisenbeton sind dauerhaft und widerstandsfähig gegen mechanische Einflüsse (Erdrutschungen) und gegen Außen- und Innen-

*) Vrgl. weiterhin „Zementrohre, ihre Verwendung, Prüfung und Bewertung in der Praxis“, Gary, Berlin 1906.

druck. Beliebige Wahl des Profils. Dünne Wände, deshalb leichteres Handhaben und geringer Druck auf den Untergrund. Eisengeflecht aus ringförmigen Tragstäben, durch gerade Längsstäbe verbunden (vgl. Abb. 63). Doppelgeflecht nur bei sehr stark beanspruchten Röhren von größerem Durchmesser notwendig. Verlegen, Querschnittform, Muffen (hier mit Einlagen), Sättel, Bandagen, Ausdehnungsfugen usw. wie bei den gewöhnlichen Zementröhren. Bis 2,00 m Dmr. fabrikmäßige Herstellung möglich, sonst Ausführung in der Baugrube mit Lehrbögen und Schalung (Bauweise Monier, Bordenave, Zisseler u. a.).

Abb. 63.

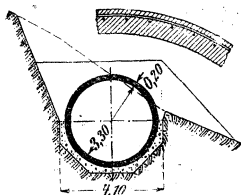


Abb. 64.

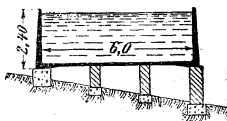
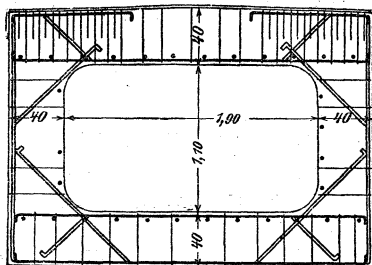


Abb. 65.



Kanäle in Eisenbeton, geschlossen, von rundem, gedrücktem oder rechteckigem Profil. Leichte Herstellung der Uebergänge von hohen zu flachen Profilen. Vorteilhaft

bei schlechtem Baugrund. Wegen schneller Herstellung Abkürzung der Störungen des Straßenverkehrs. Besonders vorteilhaft für Sielbauten, Kläranlagen und Kanalisationsbauten, sowie für Durchlässe (vgl. Abb. 65), Untergrundbahnen, Tunnelbauten, Aquädukte und Kanalbrücken. Decken von großer Tragfähigkeit bei geringer Ueberschüttung und kleinster verfügbarer Konstruktionshöhe.

Abb. 64: Querschnitt eines offenen Kanals für eine Turbinenanlage; 2 m Wasserhöhe, 20 cm Wandstärke.

Abb. 65: Rechteckiger Querschnitt eines Dückers; innen glatter Zementverputz.

Durchlässe in Eisenbeton, entweder als allseitig geschlossene Rahmen ausgebildet (Abb. 65; vorteilhaft bei nachgiebigem Baugrund, oft mit Pfahlgründung) oder als einfache Deckenplatte auf Seitenwänden in Bruchstein- oder Stampfbetonmauerwerk.

Sind Uebergänge von hohen zu flachen Profilen nötig, dann empfehlen sich in erster Linie gewölbte Durchlässe in Eisenbeton. Parabelförmige Wandungen — dem Verlauf der Drucklinie folgend — stützen sich auf biegeunfähige Sohlkörper, deren Bewehrung den Horizontalschub aufnimmt. Hohe Tragfähigkeit und geringes Eigengewicht selbst bei gedrücktestem Kanalprofil (geringster Bauhöhe).

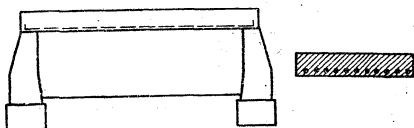
9. Platten- und Balkenbrücken.

Schnell herzustellen, wetterbeständig, feuer-, sturm- und hochwasser-sicher, keine Unterhaltungskosten (außer Erneuerung der Fahrbahn-abdeckung), lange Lebensdauer, oft billiger als Eisenbrücken, jedmögliche Formgebungen (schiefe Ueberbrückungen, Auskragungen), frei von Schwan-kungen und Geräuschen, widerstandsfähig gegen dynamische Einwirkungen; Rauchgase von Lokomotiven üben keinen schädlichen Einfluss auf den Beton aus, also auch nicht auf die eingebetteten Einlagen. Pfeiler und Joche in Eisenbeton gestatten bedeutende Durchfahrtsbreiten. Bedeutende Steifigkeit, geringe Durchbiegungen. Ermöglichung architektonischer Be-handlung (Ansichtsflächen in Vorsatzbeton, steinmetzmäßig bearbeitet).

Plattenbrücken.

Lichtweite zumeist wesentlich kleiner als Breite der Brückentafel. Grenzwerte der Spannweiten etwa 1,5 m bei Eisenbahnbrücken, 3 bis 4 m bei Straßenbrücken und 4 bis 5 m bei Fufssteigen. Bei gröfseren Spannweiten sind Balkenbrücken wirtschaftlicher, oder Walzträger mit dazwischengestampftem Beton bzw. dazwischengespannten Eisenbetonplatten.

Abb. 66.



Vollwandige Balkenbrücken.

a) **Einfache Balkenträger mit oben liegender Fahrbahn.** Spann- weiten etwa 5 bis 13 m. Die Anordnung des Tragwerkes entspricht durchaus derjenigen der eisernen Brücken: es werden die Hauptträger von Widerlager zu Widerlager gelegt und durch ein festes Fahrbahn- gerippe steif miteinander verbunden. In statischer Hinsicht sind die Plattenbalken zumeist als beiderseits frei aufliegend anzusehen; nur bei kräftiger Verankerung im Widerlager kann eine Einspannung bei der Berechnung berücksichtigt werden. Bei beschränkter Bauhöhe können statt einiger hoher Balken mehrere Einzelbalken von geringerer Höhe und geringerer Entfernung genommen werden. Vorteilhaft ist eine leichte Wölbung der Fahrbahnplatte in Quer- und Längsrichtung, damit das durch die Bettung eingesickerte Wasser allseits abfließen kann. Zum Schutze des Betons gegen das Wasser verwendet man am besten Asphalt mit Blei- oder Filzeinlagen, welche durch eine besondere Betonschicht gegen mechanische Zerstörung durch den Bettungskörper zu schützen ist.

Die Anordnung der Widerlager und ihrer Fundamente entspricht im allgemeinen derjenigen eiserner Brücken. Die Uebertragung der Brücken- last erfolgt am vorteilhaftesten durch einen besonderen, quer zur Brücken- achse liegenden Auflagerträger. Widerlager in Eisenbeton bieten den Vorteil geringerer Masse, also auch geringerer Fundament-Sohlflächen.

Trägerstützungen mittels Kipp- und Rollenlager sind bisher nur ver- einzelt ausgeführt worden. In der Regel genügt eine einfache Auflage- rung durch besondere Auflagerquader (auch in Eisenbeton), oder mittels einer 2 cm starken flusseisernen oder stählernen Lagerplatte. Sind die

Brückenträger frei aufgelagert, so muß durch mindestens 2 cm breite Anschlufsfugen auf Temperatureinflüsse Rücksicht genommen werden. (Abdeckung durch übereinandergeschobene Bleche oder dgl.).

Abb 67.

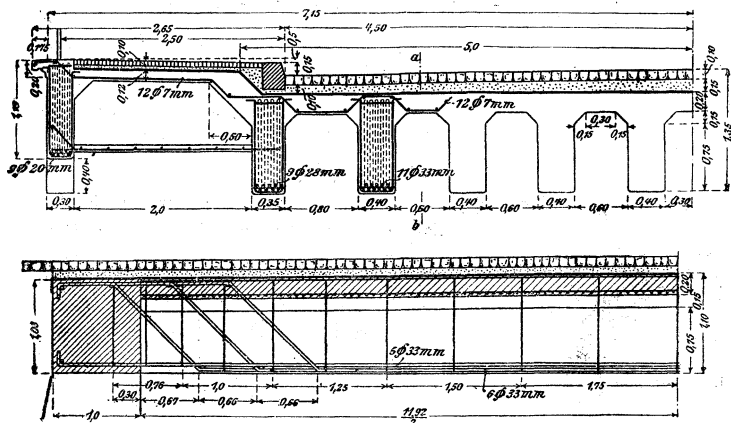


Abb. 67: Straßenbrücke von 12,40 m Stützweite (Ueberbrückung der Rixdorf-Mittenwalder Kleinbahn im Zuge der Germaniastraße, Berlin). Breite zwischen den Geländern 14 m; gesamte Konstruktionshöhe 1,35 m, einschl. 10 cm für Granitkleinpflaster und 15 cm für Magerbeton und Isolierung. Zwischen den Fußwegbalken ist eine dünne Decke zwecks Aufnahme von Leitungsrohren gespannt.

Für Gleisüberführungen zwischen Böschungen eignen sich Brückenformen gemäß Abb. 68. Kein Druck auf das in der Regel wenig tragfähige, bewegliche Böschungserdreich.

b) Einfache Balkenträger mit unten liegender Fahrbahn. Im all-

Abb. 68.

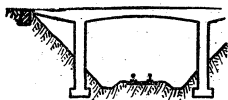


Abb. 69.

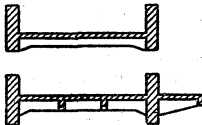


Abb. 71.

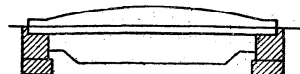
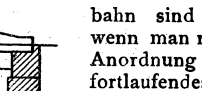


Abb. 70.



gemeinen nur dann empfehlenswert, wenn die lichte Breite kleiner ist als die halbe Lichtweite der Brücke. Spannweiten von 8 bis 10 m an aufwärts, Breiten bis zu 5 und 6 m. Balkenbrücken mit unten liegender Fahrbahn sind auch dann zweckmäßig, wenn man nicht in der Lage ist, durch Anordnung von Zwischenpfeilern ein fortlaufendes Trägersystem zu verwenden oder wenn man die kostspieligen Widerlagskörper eines gewölbten Brückenbogens sowie größere Anrampungen vermeiden möchte. Grundformen gemäß Abb. 69 (Fußgängerbrücke) und Abb. 70 (Straßenbrücke mit seitlichem Fußsteig). Die Träger-

Abb. 72 bis 74.

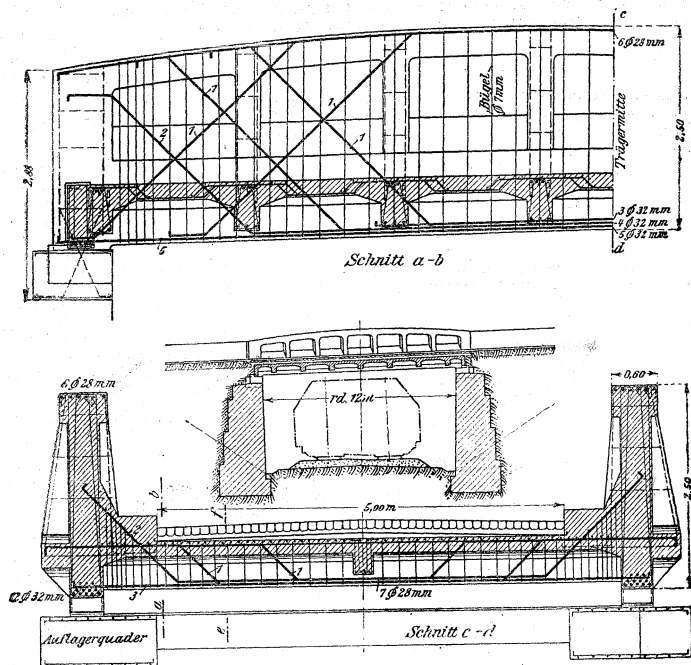


Abb. 75.

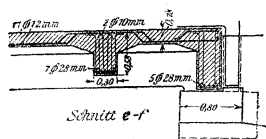
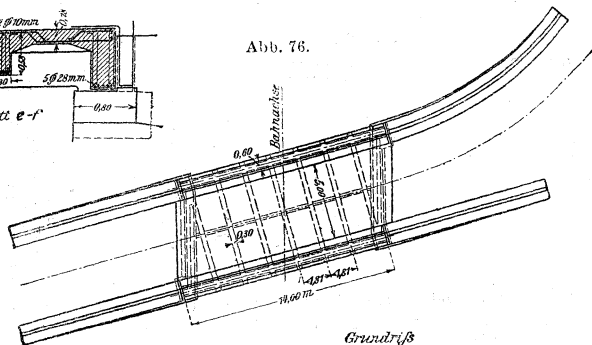


Abb. 76.



höhe ist natürlich eine Funktion der Brückenbreite; sie kann gemäß Abb. 71 an den Auflagern geringer sein als in Trägersmitte (Materialersparnis). Zur Flächenbelegung und Gewichtsverringerung kann man

Abb. 77.

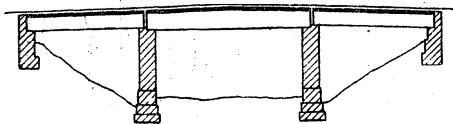


Abb. 78.

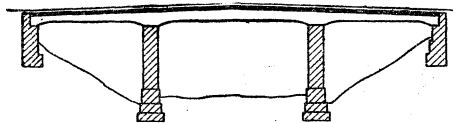


Abb. 79.

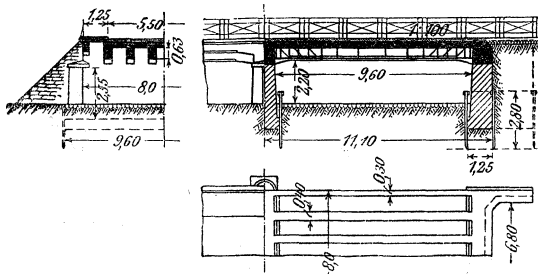


Abb. 80.

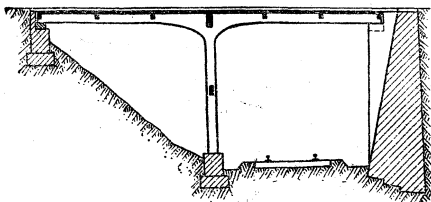
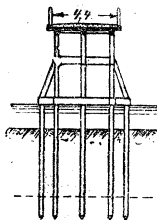


Abb. 81.



gemäß Abb. 74 Aussparungen an der Trägersaußenseite vornehmen. Auflagerquader zumeist in Eisenbeton.

Abb. 72 bis 76: Straßenüberführung der Großherzogl. Badischen Eisenbahn in Bretten; Spannweite 12,30 m, Breite 7,80 m, Höhe der Hauptträger 2,5 m; Ansichtsflächen in Kalksteinvorsatzbeton, steinmetzmäßig bearbeitet.

c) **Einfache Balkenträger auf mehreren Stützen.** Entweder mehrere einfache, statisch be-

stimmte Trägerstücke (Abb. 77) oder kontinuierlich durchlaufende Träger (Abb. 78). In letzterem Falle beträchtliche Materialersparnis und

Ermöglichung größerer Durchfahrtsöffnungen, insbesondere dann, wenn Mittelfelder größer als Endfelder. Freie Auflagerung auf den

(vollwandigen oder Einzel-)Stützungen (Abb. 79) oder volle Einspannung gemäß Abb. 80. Die Pfeiler können auch als Eisenbetonjoche auf Pfahlgründung ausgeführt werden (Abb. 81). Man hat auch

Pendeljoche angewandt, ebenso Gleit- und Rollenlager bei Verwendung feststehender Joche.

Anordnung der Eiseinlagen wie im Hochbau.

d) **Eingespannte Brückenbalken und Rahmenträger.** Feste Ver-
spannung der Haupt-
träger mit den Wider-
lagskörpern zu einem
biegungsfesten Rahmen.
Die Widerlager haben
zumeist die Form der
Winkelstützmauern

(Abb. 95). Positive
Biegemomente in
Balkenmitte wesentlich kleiner als bei freier Endauflagerung; anderseits
aber beträchtliche negative Einspannungsmomente.

Abb. 82: Quer- und Längsschnitt eines Eisenbahntunnels auf Holzpfählingen. Mittel-
wand in einzelne stehenden Wänden (die als Tragbalken ausgebildet werden
können). Wände getrennt fundiert, aber durch Querbalken verbunden.

e) **Kanalbrücken.** Brückenartige Ausbildung schiffbarer Kanäle. An
Stelle der Fahrbahnplatte tritt der Kanal, der rechteckigen Querschnitt
mit lotrecht stehenden Wänden (die als Tragbalken ausgebildet werden
können, ähnlich wie Abb. 69 zeigt), oder auch trogförmigen Querschnitt
haben kann. Hohe Belastungen (gleichmäßig verteilt), deshalb nur ge-
ringe Spannweiten möglich. Ausdehnungsfugen und Schutzmittel für
Sohle und Wände (gegen Beschädigungen), sowie guter wasserdichter
Innenputz erforderlich.

Fachwerkbrücken.

Fachwerkbrücken in Eisenbeton eignen sich für größere Lichtweiten
als etwa 18 m, bei welchen die Vollwandträger ihres zu großen Eigen-
gewichtes wegen unvorteilhaft sind (die gleichen Gesichtspunkte wie im
eisernen Brückenbau). Vorteil einer besseren Materialausnutzung. Gur-
tungen in der Regel geradlinig parallel, aber auch parabel- und kreisförmig.

Durchbrochene Tragwerke, bei denen die Aussparungen verhältnis-
mäßig klein sind.

Pfostenfachwerke nach Bauweise Vierendeel. Gurtungen zumeist parallel,
also einfache Ausführung der Verschalungen. Bei teilweiser Versenkung
der Fahrbahn können die Obergurte gleich-
zeitig als Brüstung
dienen. Die Ab-
messungen der Pfosten
nehmen in der Regel
— in Rücksicht auf
das Anwachsen der
Schubkräfte — nach
den Auflagern hin stetig zu; an den Auflagern selbst zumeist voll-
wandiger Trägerquerschnitt.

Abb. 83: Halbparabelbrücke, Trägerlänge 18,2 m, Höhe in Balkenmitte 1,83 m;
Pfosten zeigen kreuzförmigen, Obergurt T-förmigen Querschnitt.

Abb. 82.

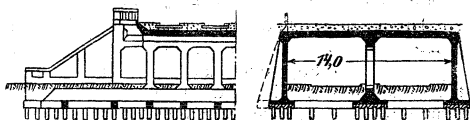
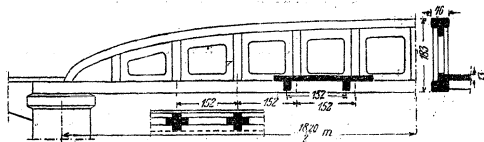


Abb. 83.



Dreiecksfachwerkträger umständlicher in der Herstellung. Gliederung möglichst so vornehmen, daß die Zugdiagonalen senkrecht zu den Gurtnungen liegen (zuverlässigere Verbindung der Einlagen). Considèresche Bauweise mit Anwendung des spiralumschnürten Betons. Bauweise Visintini (fabrikmäßige Herstellung der Träger, vrgl. Abb. 40).

Ebene Fahrbahntafeln für Bogenbrücken und für eiserne Tragwerke.

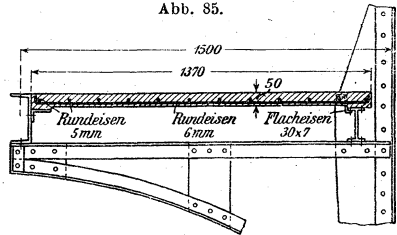
Bei Bogenbrücken kann die Fahrbahntafel (Rippendecke) entweder durch eisenverstärkte Säulen auf dem darunter liegenden Bogen aufgestützt (Abb. 88) oder auch durch Hängesäulen an dem darüber gespannten Bogen aufgehängt sein (Abb. 97).

Bei eisernen Brückentragwerken kann der Eisenbeton als Ersatz für Zoreisen, Buckelplatten, Wellblech u. dgl. verwandt werden. Ersparnis besonderer Querversteifungen (Abb. 84). Fabrikmäßige Herstellung von Platten in Breite der Trägerentfernung und Verlegen an Ort und Stelle in abgebindenem Zustand (mit Falz, spätere Dichtung mit Zement). Abb. 85: Fußsteigplatten in Eisenbeton für eine eiserne Fachwerkbrücke.

Abb. 84.



Abb. 85.



Verladebrücken, Landungsstege.

In der Regel kontinuierlich fortlaufende Plattenbalken. Gründung zu meist auf Eisenbetonpfählen, die in ihrer Verlängerung nach oben gleichzeitig als unmittelbare Stützung der Brückenbahn dienen.

10. Bogenbrücken

in Eisenbeton bieten die gleichen Vorteile, wie oben bei den Balkenbrücken angegeben; außerdem: Ermöglichung geringer Pfeilhöhen (bis $\frac{1}{17}$ der Spannweite); Vermeidung teurer, umständlicher Fugenschnitte; billiger als Steinbrücken. Ansichtsflächen gestockt oder mit Quader verkleidet.

Gewölbe mit schlaffer Bewehrung.

Der bauliche Zusammenhang zwischen Traggewölbe und Fahrbahntafel kann verschieden sein:

a) **Vollgewölbe mit durchgehenden Stirnwänden** aus Beton, Bruchstein- oder Ziegelmauerwerk und mit Aufschüttmaterial, das die Fahrbahn unmittelbar trägt (Abb. 86). Gewöhnliches Stichverhältnis 1:6 bis 1:10. Tragstäbe gebogen, in Richtung der Längsachse der Brücke verlegt; Verteilungsstäbe senkrecht dazu. Durch richtige Festlegung der Gewölbeform können Zugspannungen im Beton ausgeschlossen werden; die

Eisenbewehrung dient dann lediglich zur Erhöhung des Sicherheitsgrades. Schubspannungen spielen eine untergeordnete Rolle; trotzdem reichliche Anordnung von Bügeln empfehlenswert (vgl. Abb. 88).

b) Vollgewölbe mit Sparöffnungen. Empfehlenswert bei größeren Spannweiten, wo die Eigenlast der Brücke im Vergleich zur Ver-

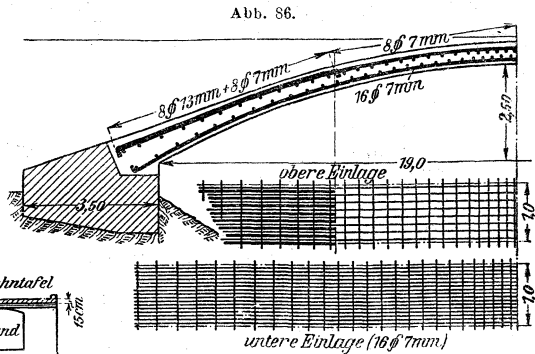


Abb. 87.

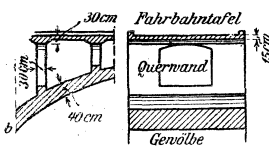


Abb. 88.

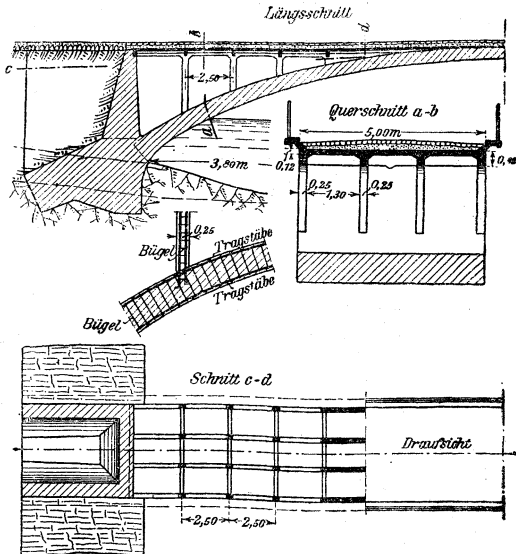


Abb. 89.



rippen parallel und Nebenrippen senkrecht zur Brückenachse (Abb. 88).

Nach Abb. 89 ist das Gewölbe in zwei voneinander getrennte Streifen zerlegt; nur die Fahrbahntafel ist in voller Breite durchgeführt, dsgl. das

Fundament; Ersparnis an Baustoff und an Rüstholz (zweimalige Verwertung ein und desselben Lehrgerüsts).

Statt des im Querschnitt rechteckigen Gewölbes kann auch eine gewölbte Rippenplatte zur Anwendung kommen; die Ständerreihen finden

Abb. 90.

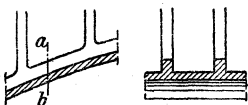
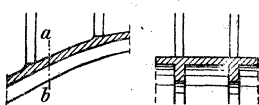


Abb. 91.



ihre Auflagerung auf den Rippen, die in entsprechender Weise zu bewehren sind und — je nach Wahl der Bogenform — nach Abb. 90 oben (einfachere Schalung), nach Abb. 91 unten liegen.

Bei der neuen Moselbrücke bei Novéant (vgl. Arm. Beton 1910, Heft 1) ist die Platte gemäß Abb. 92 so geführt, daß sie an den Kämpfern

Abb. 92.

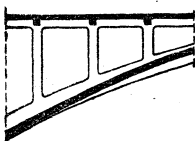
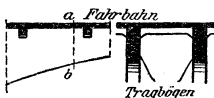


Abb. 93.



an der Rippenunterkante und am Scheitel an der Rippenoberkante liegt; günstigste Materialverteilung, weil an den Kämpfern vorwiegend negative und im Scheitel vorwiegend positive Momente auftreten.

c) **Rippengewölbe mit oben liegender (Abb. 93) oder mit versenkter Fahrbahntafel** (Bauweise Hennebique). Bei geringer Fahrbahnbreite genügen 2 Rippen. Bei gewölbter Platte muß Aufschüttung gemäß Abb. 94 erfolgen; die äußeren Rippen können in ihrer Fortsetzung nach oben

Abb. 94.

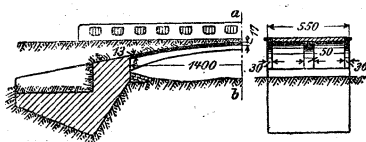
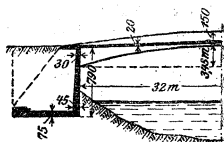


Abb. 95.



die Stirnmauern bilden und auch gleichzeitig zum Aufstampfen der Brüstung dienen.

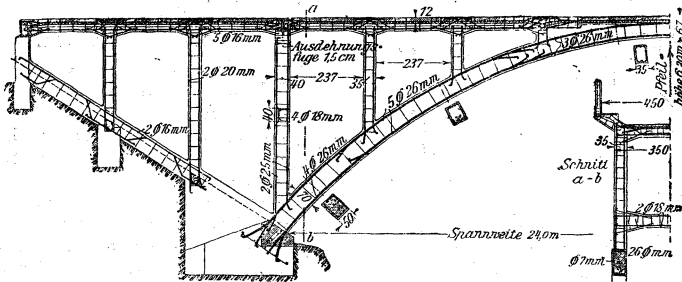
Abb. 95 zeigt eine Ausführung mit versenkter Fahrbahn zwischen zwei Bogenrippen.

d) **Einzelbogen mit aufgesetzter Fahrbahntafel.** Die Last der Fahrbahn wird auf zwei oder mehrere voneinander getrennte Bogenbalken übertragen.

Abb. 96 zeigt eine derartige Bogenbrücke auf der Strecke Donauwörth—Treuchtlingen, ausgeführt von Gebr. Rank, München; zwei Bogen-

rippen von 24 m Lichtweite und 6,2 m Pfeilhöhe; Stärke der Fahrbahnsäulen 35 . 35 cm; zur besseren Aufnahme der Windkräfte sind über den Bogenwiderlagern kräftige Querrahmen vorgesehen; nach den Kämpfern

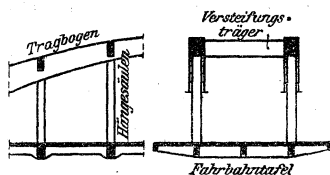
Abb. 96.



hin schwacher Anlauf der Brücke; von den Widerlagern der Tragbogen gehen beiderseits Balkenträger aus, welche unter den Böschungspfeilern besondere Fundamente aufweisen und außerdem durch Querbalken — in der Böschung liegend — miteinander verbunden sind.

e) **Einzelbogen mit angehängter Fahrbahnstafel** (Abb. 97). Fahrbahn durch Hängesäulen an zwei beiderseits angeordneten Bogenträgern

Abb. 97.



befestigt. Brückentyp bei größeren Spannweiten vorteilhaft, wenn man bei niedrigen Ufern und bei Fortfall langer Zufahrtsrampen mit hohem Wasserstande rechnen muß, die Konstruktionshöhe der eigentlichen Brückentafel eine sehr geringe ist und wenn der Baugrund für die Widerlager unsicher ist und tiefliegende Kämpfer zu sehr vom Hochwasser bedroht werden. Horizontalschub kann je nach Erfordernis vollkommen oder teilweise durch die Fahrbahnplatte bzw. durch besonders kräftige Rippenbewehrung derselben aufgenommen werden. Bei großer Pfeilhöhe machen sich Verstrebungen der Bogen gemäß Abb. 97 erforderlich. Für die Hängesäulen empfiehlt sich eine zur Brückenachse senkrecht stehende Rechteck-Querschnittsform.

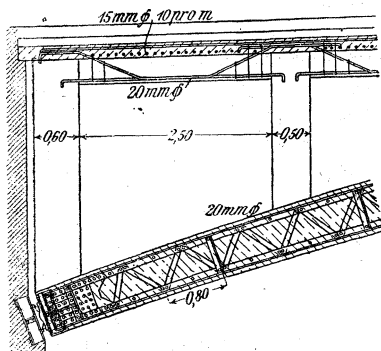
Gewölbe mit steifen (Profil-) Einlagen.

Bauweisen Melan (Abb. 98), Wunsch, Möller usw. Vorteile: Ersparnis an Rüstholz infolge Anhängens des Schalholzes an die tragfähigen Eisenbogen (Walzeisen oder Fachwerkträger); einfachere Montage der Eisenbewehrung, keine so große Sorgfalt beim Einstampfen des Betons erforderlich, wie beim Vorhandensein leichter beweglicher Monier-

netze; Anbringung von Gelenken konstruktiv leicht möglich (vgl. Abb. 98). Genietete Gitterträger nur bei größeren Spannweiten; bei kleineren Spann-

weiten genügen gebogene Walzträger mit vollem Steg, I-, L-, C-Eisen oder auch Eisenbahnschienen.

Abb. 98.

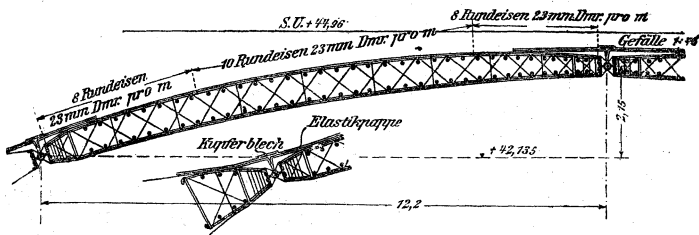


Gelenk-Wölbrücken.

Bogen mit einem und zwei Gelenken noch wenig ausgeführt. Am gebräuchlichsten ist der Dreigelenkbogen; er bewährt sich um so besser, je bedeutender das Eigengewicht des Gewölbes im Vergleich zur Verkehrslast ist. Vorteile: statische Bestimmtheit des Bogenträgers; Ausnutzung der Betondruckfestigkeit auch bei kleineren Spannweiten bis zur zulässigen Grenze — zum Gegensatz von

den eingespannten Gewölben; Gewölbespannungen unabhängig von Temperatureinflüssen, von der Nachgiebigkeit der Widerlager und Pfeiler, von Senkungen des Lehrgerüsts beim Ausrüsten und von der Zusammendrückung des Wölbmaterials (alle diese Punkte gelten namentlich für die im Eisenbetonbau üblichen Flachbogen). Nachteile: teures Versetzen der Gelenkteile; unschöne Formgebung infolge starker Bruchfugen, namentlich bei großen Pfeilhöhen; doch kann man auch — bei Verschiebung

Abb. 99.



der Kämpfergelenke nach dem Scheitel hin, gemäß Abb. 99 — mit nur wenig Materialzugabe eine Gewölbeform schaffen, bei welcher, wie bei den eingespannten Bogen, die Gewölbestärke von den Kämpfern aus nach dem Scheitel hin gleichmäßig abnimmt. Bei schiefen Brücken hat die Verwendung der Gelenke Schwierigkeiten im Gefolge.

Dreigelenkewölbe werden von vornherein zumeist derartig entworfen, daß eine Eisenbewehrung rechnerisch nicht notwendig wird. Eisenbeton empfiehlt sich im allgemeinen für Dreigelenkbogen mit großer Spann-

weite und kleinem Pfeilverhältnis und umgekehrt für solche mit kleiner Spannweite und großem Pfeilverhältnis.

Bleigelenke, Gelenke aus natürlichem Stein (Granit) und künstlichem Stein (Beton und Eisenbeton), aus Eisen oder Stahl (Wälz-, Zapfengelenke).

Abb. 99 zeigt die Gewölbeausführung der Prinzregentenstraßenbrücke in Wilmersdorf-Berlin (A.-G. für Beton- und Monierbau); bei 30 m Lichtweite nur 24,40 m Spannung, Pfeilhöhe $\frac{1}{12}$; die Gelenke werden — ähnlich den Bolzenkipplagern der Eisenbogen — durch gußeiserne Lagerstühle gebildet, welche einen zylindrischen Stahlbolzen von 8 cm Dmr. umfassen.

11. Sonstige Anwendungsgebiete aus dem Hoch- und Tiefbau.

Umfangreichste Anwendung hat der Eisenbetonbau bei Anlage von Fabriken, Geschäftshäusern und anderen gewerblichen Bauten gefunden.

Vorteile des Eisenbetons: Feuersicherheit, gute Raumausnutzung, große Helligkeit der Räume, Ausnutzung der Dachräume zu Arbeitsstätten; auch leichte Anbringung von Transmissionen.

Die Abb. 41, 51, 52 u. 62 zeigen Beispiele solcher Ausführungen. Abb. 100: Schachtgebäude mit Förderturm für Bergbauzwecke (Wilhelmshütte A.-G., Altwasser).

Abb. 100.

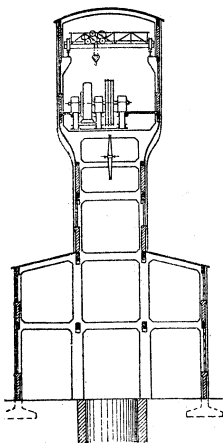


Abb. 101.

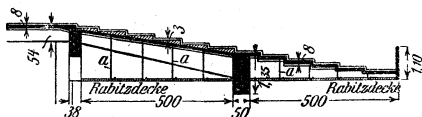
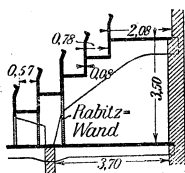


Abb. 102.



Eisenbeton für Theater-, Saal- und Kirchenbauten: Vollkommene Feuersicherheit, wenig Rangstützen, weite Auskragungen (Abb. 44, 62). Abb. 101: Empore der Ulmer evangelischen Garnisonkirche; zur Erzielung einer ebenen Untersicht sind Rabitzdecken durch Drähte *a* an der Fußbodenplatte aufgehängt.

Für den Bau von Kliniken, Krankenhäusern und Schulen sind in erster Linie die hygienischen Vorzüge des Eisenbetons maßgebend. Abb. 102 zeigt einen Auditoriumbinder mit Decken und Brüstungswänden in Eisenbeton. (Die Rabitzwände dienen lediglich zur Herstellung von Räumen für Unterbringung von Putzzeug u. dgl.).

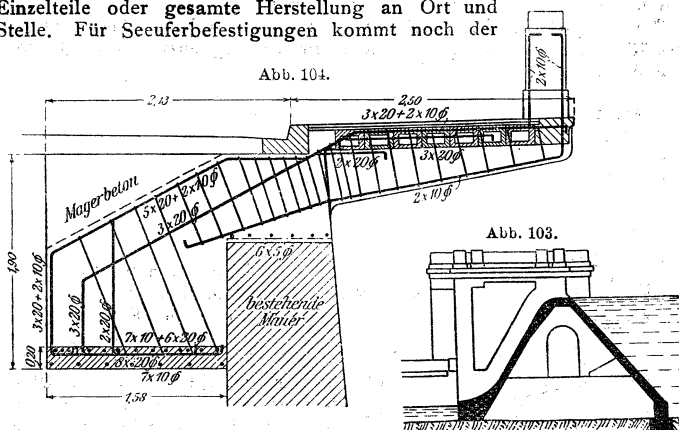
Verwendung des Eisenbetons für land- und forstwirtschaftliche Bauten, Stallungen (Sauberekeit, kein Schwitzen der Wände, bei Doppel-

ständen keine störenden Säulen im Mittelgang; bei Isolierdecken dringt der Stalldunst nicht in den Bodenraum), Scheunenbauten (Bauweise Prüfs), Grenz- und Obstpaliermauern (bieten den Hauptvorteil, daß die zwischen den Stielen freitragenden Wände den Baumwurzeln das Ausbreiten nicht behindern), Einfriedigungsmauern (vgl. S. 302).

Wehre (Staumauern, Dämme, Talsperren). Statt der festen, massiven Wehre hohle Wehre; geringer Stoffaufwand und trotzdem größte Standfestigkeit. Durch Schräglegen der Druckfläche die Wasserdruckkraft zur Erhöhung der Standfestigkeit mit heranziehen, dann keine Gefahr des Kippens (Abb. 103); sonst kräftige Rippenabsteifungen nötig. Leichte Kontrolle der Innenwandung. Flache Krone wegen Beschädigungsgefahr durch Treibeis u. dgl.

Abb. 103: Querschnitt eines 6 m hohen Staudammes in Amerika, dessen Hohlraum zu einem Durchgang benutzt wird.

Uferdeckungen zum Schutze des Erdreichs gegen starken Wellenschlag. Kein Auswaschen von Fugen. Platten aus Eisenbeton, verankert oder durch eingerammte Spundwände gestützt. Bauweise Möller, Rabitz, Muralt u. a. Fabrikmäßige Herstellung der Einzelteile oder gesamte Herstellung an Ort und Stelle. Für Seeuferbefestigungen kommt noch der



Vorteil hinzu, daß Sand und Kies am Bauplatz zu finden ist und Zement in Tonnen leicht herangebracht werden kann; Stein dagegen erfordert beträchtliche Transportkosten.

Auskragungen in Eisenbeton zur Verbreiterung von Straßen über bestehende Stützmauern hinaus. Verankerung durch Betonklotz hinter der Mauer. Abb. 104: Straßenverbreiterung in Baden-Baden; einzelne Kragrippen, durch Siegwartdecke (vgl. Abb. 39) miteinander verbunden.

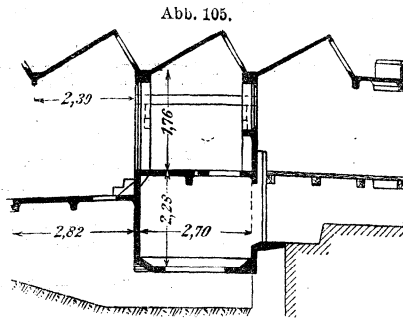
Turbinenkammern in Eisenbeton schon vielfach ausgeführt; namentlich in Verbindung mit schwierigen Kanalanlagen und steifen Oberböden. Leichte Formbarkeit und Wasserundurchlässigkeit. Aus-

führung in Eisenbeton dann vorteilhaft, wenn mit beschränkten Raumverhältnissen und schlechtem Baugrund zu rechnen ist. Abb. 105: Turbinen-Aufsitzkranz für die Turbine, Abschlufs gegen den Unterwasserkanal, Sheddach usw. in Eisenbeton.

Masten (Licht-, Fernleitungs- und Bahnleitungs-masten), fabrikmässig hergestellt, verlangen keine Unterhaltungskosten, keinen Anstrich und keinen Verputz, wenn sie sauber aus der Schalung kommen; sie sind wetterfest, dauerhaft und haben ein gefälliges Aussehen. Querschnitt rund (Patent Siegwart), quadratisch, rechteckig oder I-förmig, voll und hohl. Zu berechnen nach den „Normalien für Freileitungen“; 2- bis 3fache Sicherheit dürfte ausreichend sein.

Schornsteine in Eisenbeton bieten mancherlei Vorteile: geringes Eigengewicht, also keine breite Sohlfläche, große Standfestigkeit, kein Fugenklaffen. Querschnitt zumeist doppelwandig. In Amerika schon viel ausgeführt, in Europa nur vereinzelt.

Schwellen in Eisenbeton sehr biegezugsfest, dauerhaft und wetterbeständig; kein Verputz und keine Unterhaltungskosten, größere Betriebssicherheit als hölzerne oder eiserne Querschwellen. Infolge großen Eigengewichts Vermehrung der Gleisstabilität und ruhige Gleislage. Oft auch billiger als eiserne Querschwellen. Langschwellen in Eisenbeton keine so gute Entwässerung und Spurerhaltung als Querschwellen. Elastische oder eiserne Unterlagen zwischen Schienenfufs und Beton.



Ausführlichere Angaben über die mannigfachen Verwendungsmöglichkeiten des Eisenbetons im Hoch- und Tiefbau sind u. a. enthalten in:

Handbuch für Eisenbetonbau, herausgegeben von k. k. Oberbaurat Dr. F. v. Emperger; Mörsch, Der Eisenbetonbau; Christophe, Der Eisenbeton und seine Anwendung im Bauwesen; Kersten, Der Eisenbeton, Teil I Ausführung und Berechnung der Grundformen, 8. Aufl. 1911, Teil II Anwendungen im Hoch- und Tiefbau, 6. Aufl. 1911, Brücken in Eisenbeton, Teil I, Balkenbrücken, Teil II Bogenbrücken, Förster, Balkenbrücken; Beton-Kalender.

FÜNFTER ABSCHNITT.

HOCHBAU.*)

I. MAUERWERK.

a. Mauerwerkarten.

1. Bruchsteinmauerwerk.

Geringste Mauerstärke der Umfassungswände bei Wohngebäuden 45 bis 60 cm. 1 cbm Bruchsteinmauerwerk erfordert 1,25 bis 1,3 cbm regelmäfsig aufgesetzte Bruch- oder Lesesteine; bei lagerhaftem Material und grossem Umfang der einzelnen Steine genügen 1,05 bis 1,1 cbm. Mörtel 0,33 cbm.

2. Betonmauerwerk.

Dient im Hochbau hauptsächlich zur Herstellung von Fundamenten. Mit Eiseneinlagen (Profil-, Rund- und Bandeseisen) zur Erhöhung der Zugfestigkeit vielfach verwandt als Eisenbeton zur Herstellung von Stützen, Decken, Gewölben u. a.

Folgende Mischungen sind üblich und ergeben ungefähr die nachstehend verzeichneten Betonmengen:

Zement	Sand	Kies, Steinschlag	Beton
1	2	4	= 4,4
1	3	6	= 6,6
1	4	8	= 8,8

Zu Fundamenten wird oft noch magererer Beton verwandt.

Bimsbeton (leicht), auch mit Eiseneinlage, als Unterbettung für Deckungen feuersicherer Dächer. Schlackenbeton (leicht) vorwiegend als Füllmittel bei massiven Decken und Dächern (Holzzement). Vrgl. I. Bd. 5. Abschn., V.

3. Quadermauerwerk.

Entweder wechseln ganze Schichten von Läufern mit ganzen Schichten von Bindern oder in ein und derselben Schicht Läufer regelmäfsig mit Bindern ab. Die Höhe einer Schicht ist ein Vielfaches der Höhe einer Ziegelschicht.

Der **Verband** der Steine miteinander wird oft hergestellt durch verzinkte eiserne (bronzene, kupferne) **Klammern**, die meist mit Zement-

*) Die Beispiele sind den Baukonstruktionsentwürfen des Verfassers entnommen.

mörtel vergossen werden (Abb. 1 u. 2). Demselben Zwecke dient Blei (in trockener Höhlung), das nach dem Erkalten nachzustemmen ist. Verbindung der Steine vielfach durch Dübel (8 cm lang, 2 bis 5 cm stark) aus verzinktem Eisen (Stein, Bronze, Kupfer) von rundem, quadratischem oder schwalbenschwanzförmigem Querschnitt.

Abb. 1.

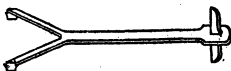
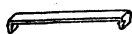


Abb. 2.



Quaderverblendung und Hintermauerung zweckmäßig durch Gabelanker (Abb. 1 u. 3) verbunden.

Wagerechte Fugen können dadurch gebildet werden, daß die Steine unter den Ecken mit Holz-, Blei-, Zink- oder Dachpappeplättchen gestützt und mit Mörtel vergossen werden. Dann ist nicht mit zu großer Festigkeit des Mörtels zu rechnen. Einfacher und sicherer ist das Versetzen der Quader auf Mörtelbett. Anzuwenden hydraulischer Kalk oder Luftmörtel, unter Wasser Zementmörtel, durchweg mit Zusatz von feinem, scharfem Sande. Zur Hintermauerung dient Mörtel, der wenig schwindet (verlängerter bzw. reiner Zementmörtel).

4. Ziegelmauerwerk.

Normalziegel 25 . 12 . 6,5 cm; Dreiviertelsteine (Dreiquartier) 18,5 . 12 . 6,5 cm; halber Stein 12 . 12 . 6,5 cm; Viertelsteine (Quartier) 5,5 . 12 . 6,5 cm; Riemchen 12 . 5,5 . 6,5 cm. Für Backsteinbauten: Verblender 25,2 . 12,2 . 6,7 cm.

Keil-, Form-, Simssteine. Klosterformat 28,5 . 13,5 . 8,5 cm. Lochziegel und poröse Ziegel sind besonders leicht, Klinker (Eisenklinker) besonders fest.

Ersatz für Ziegel (Norddeutschland) bieten Kalksandsteine von gleichen Abmessungen und ähnlichen Eigenschaften wie Ziegel. In Berlin gelten Kalksandsteine den Klinkern als gleichwertig.

Rheinische Schwemmsteine aus Bimssand und Kalk sind besonders leicht. Normalformat 25 . 12 . 9,5 cm, auch 25 . 12 . 6,5 cm und andere Abmessungen. Schamottesteine für Feuerungsanlagen in den verschiedensten Formen. Radialsteine für Schornsteinbau Kopf in der Außenfläche 16 . 9 cm, Stärken 10, 15, 20 und 25 cm. Alle Ziegel sind vor dem Vermauern gut anzunässen. Die lange Seite des Ziegels heißt Läufer-, die kurze Binder- oder Streckerseite. Demgemäß Läufer- und Binder- oder Strecker-schichten zu unterscheiden. Ziegel, auf der schmalen Seite liegend vermauert, bilden eine Rollschicht. Wagerechte Fugen heißen Lagerfugen (1,2 cm), senkrechte Stosfugen (1 cm stark). Normale Fugendicke bei Verblendung durchweg 8 mm; Schichthöhe 7,7 cm, 13 Schichten 1 m hoch.

5. Mörtel.

α) Kalk- und Zementmörtel s. I. Bd. 5. Abschn. Stoffkunde, V.

β) Putz. Er schützt wenig wetterfeste Materialien gegen Verwitterung und verdeckt unansehnliche. Putz an Außenwänden besteht

aus Kalk-, verlängertem oder reinem Zementmörtel. Terranovaputz besonders hart und wetterfest. Die Mauern sind an den Außenflächen nicht vollfugig auszuführen und die Fugen erforderlichenfalls noch auszukratzen. Je nach Ausführungsart der Putzfläche zu unterscheiden glatter Putz, Stipp-, Spritz- und Rappputz. Frischer Putz ist vor Sonnenbestrahlung zu schützen.

6. Materialbedarf.

Nachfolgende Angaben über Materialbedarf sind der D. f. d. L.*) entnommen.

Zu 1000 Normalziegeln gehören 0,55 bis 0,70 cbm Mörtel. 1 cbm volles Ziegelmauerwerk enthält 400 Normalziegel (einschl. 3 vH für Bruch) und 0,28 cbm Mörtel, 1 lfd. m Rollschicht 13 Ziegel und 0,01 cbm Mörtel. 1 qm Verblendmauerwerk ohne Oeffnungen aus ganzen und halben Steinen im Kreuzverband (gleichzeitig mit der Hintermauerung auszuführen) erfordert 75 Steine und 0,052 cbm Mörtel. 1 qm Verblendmauerwerk dsgl. aus halben und Viertelsteinen (nachträglich auszuführen) erfordert je 50 Stück Viertel- und halbe Steine und zusammen 0,040 cbm Mörtel.

Gewicht des vollen Ziegelmauerwerks in Kalkmörtel 1600, Lochziegel 1100, Kalksandsteine 1800, Klinkermauerwerk in Zementmörtel 1900 kg/cbm.

Näheres im preussischen Ministerialerlaß vom 31. Januar 1910 über Belastung und Beanspruchungen von Baustoffen bei Hochbauten Z. d. B. 1910 S. 101, sowie Hütte III. Bd., Statik der Baukonstr. I. B.

Arbeitsleistung bei Herstellung von Mauerwerk (nach Ganthey).

Arbeiter-Tagewerke in cbm bei Abzug der Oeffnungen.

Art des Mauerwerkes	Stein- brecher- arbeit	Stein- hauer- arbeit	Maurer- arbeit	Tage- löhner- arbeit
Trockenmauerwerk	0,85	.	1,33	0,67
Ziegelmauerwerk { gewöhnliches . . . . .	.	.	1,20	1,20
{ gewölbtes . . . . .	.	.	0,80	0,80
Gewöhnliches Schichtenmauerwerk in Haustein	0,85	.	1,20	1,20
Hausteinmauerwerk	1,20	2,00	1,20	1,20
Hausteingewölbmauerwerk	1,20	3,00	1,20	1,20
Quadermauerwerk { von {	2,40	3,30	1,33	1,33
(weicher Sandstein) } bis }	3,30	8,00	2,70	2,70

Arbeitsaufwand beim Brechen und Behauen härteren Gesteines:

Harter Sandstein = 2 × weicher Sandstein.

Harter Kalkstein, Marmor, Granit = 3 bis 4 × weicher Sandstein.

*) Dienstanweisung für die Lokalbauten der Staats-Hochbauverwaltung. Berlin 1898. Willh. Ernst u. Sohn.

$$\text{Krumme Flächen} = \text{ebene} \left(1 + \frac{\frac{3}{4}}{\text{Halbmesser in m}} \right).$$

Abtragen alten Gemäuers	0,67	Arbeiter-Tagewerke/cbm.
Rüsten f. gew. Mauerwerk	0,27	„ „ „

Die Angaben sind nur für überschlägliche Berechnungen brauchbar, weil die Leistungen der Arbeiter nicht nur nach den örtlichen Verhältnissen, sondern noch mehr nach der Ausführung in Tagelohn oder in Akkord sehr verschieden sind. Sehr geübte Arbeiter leisten selbst nach Abzug der Oeffnungen das Doppelte der angegebenen Beträge.

b. Steinverbände.

Stoßfugen dürfen sich nur kreuzen, nie aufeinanderfallen.

1. **Läuferverband** entsteht, wenn in allen Schichten nur Läufer,
2. **Binderverband**, wenn nur Binder verwendet werden.
3. Wechseln Läufer- und Binderschichten ab, so entsteht der **Blockverband** (Abb. 4). Versetzt man beim Blockverband die beiden durch eine Binderschicht getrennten Läuferschichten gegeneinander um $\frac{1}{2}$ St., so erhält man
4. den **Kreuzverband** (Abb. 5). Werden die Außenflächen $\frac{1}{4}$ bzw. $\frac{1}{2}$ St. stark verblendet, so entsteht
5. der **Blendverband** (Abb. 6 u. 7).

Ferner zeigen Abb. 8 u. 9 zwei aufeinanderfolgende Schichten von Außenmauern (Mauerecke) freistehender Gebäude, die mit Luftschichten von 4 bis 6 cm Stärke versehen sind. Die durch diese Schicht getrennten Teile der Mauer werden hin und wieder durch in Teer getauchte Bindersteine oder durch starke, an den Enden mit angebogenen Haken versehene Eisendrähte verbunden.

Abb. 10 u. 11 zeigen Verbände für an einer Mauerecke gelegene Rauchröhren. Wandstärke mindestens $\frac{1}{2}$, nach Nachbargrenzen mindestens 1 St. Querschnitt der Röhren von 14×20 cm ab.

Abb. 12 u. 13 Verbände eines viereckigen, Abb. 14 u. 15 eines kreisrunden Pfeilers.

Abb. 16 u. 17 Mauerverbände für kreisrunde bzw. regelmäsig achtseitige Schornsteine. Durch Drehung um 45° entsteht bei Abb. 17 die folgende Schicht.

Bei Mauerecken und bei sich durchdringenden Mauern geht, Schicht um Schicht, erst der Verband der einen, dann der anderen Mauer durch. Bei den Außenflächen von Böschungsmauern werden zur Erhöhung der Festigkeit und zur Vermeidung spitzer Winkel die Fugen rechtwinklig zur Böschungslinie angeordnet (Abb. 18).

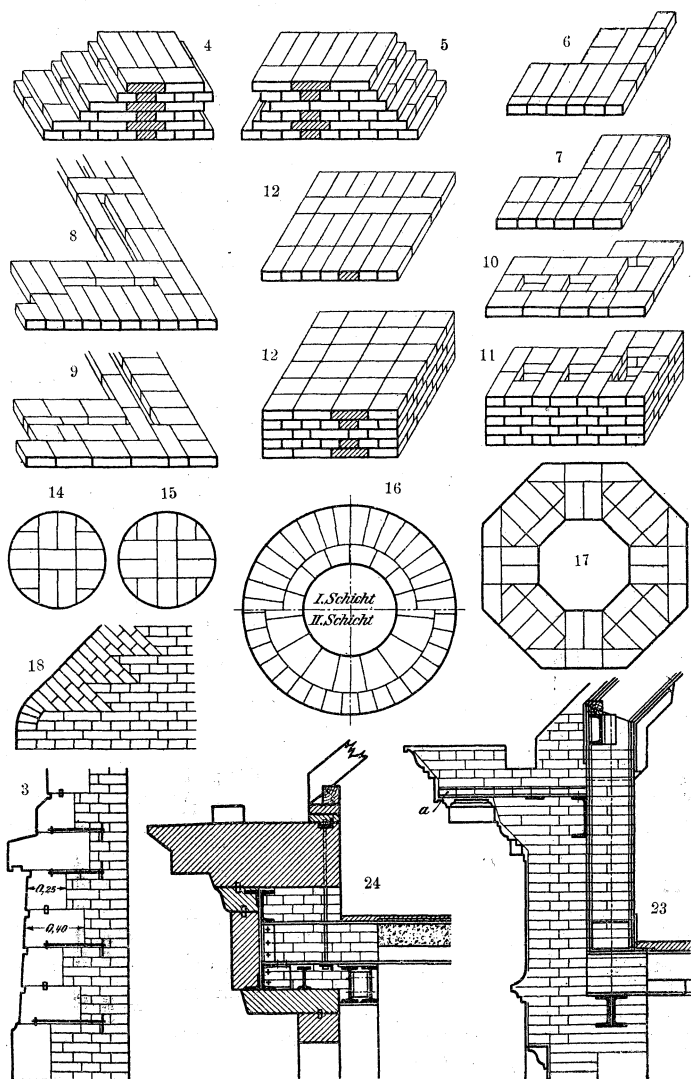
c. Mauerstärken.

Ziegelmauern sind im Vergleich zu Mauern aus Werksteinen $\frac{8}{5}$ bis $\frac{8}{6}$, aus lagerhaften Bruchsteinen $\frac{8}{10}$ -mal so stark.

Stärke der Mauern aus Normalziegeln: $\frac{1}{2}$ Stein 12, 1 St. 25, $\frac{1}{2}$ St. 38, 2 St. 51, $\frac{2}{3}$ St. 64, 3 St. 77, $3\frac{1}{2}$ St. 90 cm usw.

In Wirklichkeit sind die Mauerstärken meist etwas größer, weil die Steine nicht völlig gleichmäsig und die Stoßfugen meist größer sind, also 39 statt 38, 79 statt 77 usw.

Abb. 3 bis 18 und 23, 24.



1. Ziegelmauerstärken in cm nach Vorschrift der Berliner Baupolizei.

Bezeichnung des Geschosses	Wohngebäude							Fabrikgebäude						
	Frontwände mit Öffnungen mit Balkenlasten	Mittelwände mit Öffnungen mit Balkenlasten	Giebelwände ohne Öffnungen ohne Balkenlasten	Hohe Wände ohne Öffnungen mit Balkenlasten	Giebelwände mit Öffnungen ohne Balkenlasten	Treppenhänge		Frontwände mit Öffnungen mit Balkenlasten	Mittelwände mit Öffnungen mit Balkenlasten	Giebelwände ohne Öffnungen ohne Balkenlasten	Hohe Wände ohne Öffnungen mit Balkenlasten	Treppenhänge		
Dachgeschoss	25	.	25	25	25	25		25	.	25	25	25		
VI. Gesch. ois	38	38	25	38	25	25		38	38	25	38	25		
III. „	38	38	25	38	25	25		51	38	25	38	25		
II. „	51	38	25	38	38	25		51	38	38	51	25		
I. „	51	38	38	51	38	25		64	51	38	51	38		
Erdgeschoss	64	51	38	51	51	38		77	51	51	64	38		
Kellergeschofs	77	51(64)	51	64	51	38		90	64	51	77	51		

Plinthenmauern springen in der Regel 6 cm gegen die aufgehenden Frontwände vor.

Stärke der Kellermauern gewöhnlich $\frac{1}{2}$ St. größer als die der darauf ruhenden Erdgeschosswand.

2. Die Sohle der **Grundmauern** liegt bei gutem Baugrund in nicht-unterkellerten Gebäuden mindestens frostfrei 1,0 m tief, in unterkellerten 0,5 m unter Kellerfußboden. Bodendruck bei gutem Baugrunde 3 bis 4 kg/qcm. (Vrgl. III. Bd. Abschn. Grundbau.)

Verjüngung der Grundmauern nach oben hin zulässig, und zwar bei Ziegelmauerwerk nicht unter 60° , bei Beton nicht unter 45° Neigung.

Bankett in der Regel 50 bis 60 cm stark, darüber bei Ziegelmauerwerk 5 bis 6 Schichten zu Absätzen vereinigt. Bei Bruchstein- und Betonfundamenten haben diese Absätze 0,25 bis 0,30 m Höhe. Belastete Wände und Pfeiler aus Stampfbeton sind in Berlin im allgemeinen nur im Kellergeschoß und nur bis zu 3,5 m Höhe zulässig.

3. **Freistehende Mauern.** Freistehende Mauern aus Ziegelmauerwerk müssen mindestens $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$, Bruchsteinmauern $\frac{1}{6}$ der Höhe als Stärke erhalten.

Pfeilermauern von 3 m Höhe und 2 St. starken Pfeilern sollen bei 4 bis 5 m Abstand und 2 St. Stärke der Pfeiler 1 St., bei 1,5 bis 2,5 m Abstand $\frac{1}{2}$ St. stark sein.

Für freistehende Futtermauern empfiehlt sich zur Materialersparnis Anlauf der Außenflucht. Neigung möglichst steiler als $\frac{1}{25}$. Abb. 19 mit wagerechter Fuge, Abb. 20 mit Fuge senkrecht zur Wandfläche. Wenn Verankerung des Mauerkopfes in der Hinterfüllungserde oder an Pfeilern von Ge-

Abb. 19.

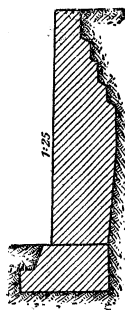
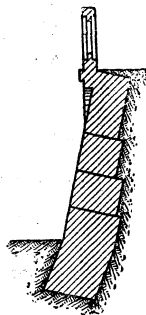


Abb. 20.



bäuden möglich, empfiehlt sich Ausführung in ausgefachter Eisenkonstruktion oder Eisenbeton.

Isolierung der Rückenfläche und Ableitung von Sickerwasser stets empfehlenswert, oft unbedingt nötig.

4. Umfassungsmauern.

a) Frontwände, bei 4,2 m größter Geschosshöhe im obersten Geschosfs $1\frac{1}{2}$ St. stark, nehmen nach unten in jedem Geschosfs um $\frac{1}{2}$ St. zu.

Sind die Frontwände auf je 10 m Breite durch eine massive Scheidewand ausgesteift, so muß in Berlin ihre Stärke für die beiden obersten Stockwerke wenigstens $1\frac{1}{2}$ St., für je zwei folgende $\frac{1}{2}$ St. mehr betragen.

Von 4,2 bis 6 m Geschosshöhe sind diese Stärken um $\frac{1}{2}$ St., bei noch größerer Höhe um 1 St. zu vermehren. Drenpelmauern sollen $1\frac{1}{2}$ St. stark sein, sofern sie massive Gesimse tragen.

Bei kleinen Wohngebäuden auf dem Lande und eingeschossigen Gebäuden, wie Scheunen, Schuppen usw., erhalten die Frontwände $1\frac{1}{2}$ und 1 St. Stärke. Im letzteren Falle sind sie unter jedem Dachbinder mit Vorlagen zu versehen, die wenigstens $\frac{1}{2}$ St. Stärke und 2 St. Breite aufweisen. Umfassungsmauern sind gewöhnlich massiv. Eisen- und Holzfachwerk sind gleichfalls zulässig, in Berlin jedoch nur bei Häusern bis 6 m Höhe und 100 qm Grundfläche.

b) Giebelwände sind, falls durch Dach und Decken belastet, wie Frontwände zu behandeln. Freistehende Grenzgiebel sind im Dach 1 St. stark, erhalten aber Verstärkungspfeiler von wenigstens 2 St. Breite und $\frac{1}{2}$ St. Vorsprung.

Die Stärken solcher Giebel nehmen in jedem Geschosfs um $\frac{1}{3}$ St. zu. Nicht freistehende Grenzgiebel im Dach und den beiden obersten

Geschossen 1 St. stark, nach unten hin für je zwei Geschosse $\frac{1}{2}$ St. mehr. Mit dem Nachbar gemeinsame Grenzgiebel sind in der Regel nicht mehr gestattet. Nachbargiebel erhalten ein einseitig ausgebildetes, ungünstig belastetes Fundament.

Zur Erzielung der nötigen Auflagerbreite ist

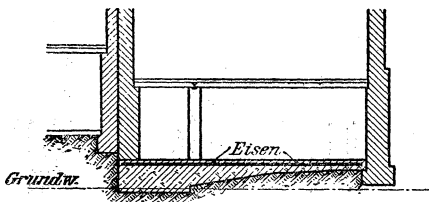
oft eine unter Kellerfußboden ausgekragte Eisenbetonplatte zweckmäßig (Abb. 21).

5. Mittelwände.

a) Balken tragende Mittelwände. 4 oberste Stockwerke $1\frac{1}{2}$ St., die beiden unteren 2 St. stark. Ueberspannen die Balken Zimmer und Flur, so sind die Flurwände bei mehr als 6 m Balkenlänge gleichfalls $1\frac{1}{2}$ St. stark. Bei gewölbten Fluren sind beide Mittelwände 2 St. stark.

Wände von Treppenhäusern und Lichthöfen, bei guter Ausführung und Verankerung 1 St., bei freitragenden, massiven Treppen $1\frac{1}{2}$ St.

Abb. 21.



stark, sind bis zur Dachhaut hochzuführen und dürfen nur die unbedingt notwendigen Öffnungen erhalten. Wandabsätze in Treppenhäusern sind zu vermeiden.

b) Scheidewände. Durch vier Stockwerke $\frac{1}{2}$ St., darunter 1 St. stark zulässig. Bei Fluren und großen Räumen besser 1 bis $1\frac{1}{2}$ St. Stärke.

Verputzte Bretterwände und Fachwerkwände aus hochkant gestellten Steinen sind gleichfalls geeignet.

6. Freitragende Wände.

a) Prüfswände. $\frac{1}{4}$ St. stark, mit Bandedisennetzeinlage von 53×53 cm Maschenweite, $15 \times 1\frac{1}{2}$ mm Bandedisinquerschnitt.

$\frac{1}{2}$ St. stark, mit 59 cm Abstand der lotrechten, 54 cm der wagerechten Eisen und $26 \times 1\frac{1}{4}$ mm Bandedisinquerschnitt.

Ausfachung mit gewöhnlichen und vollporösen Ziegelsteinen, auch rheinischen Schwemmsteinen. Verwendung bei Trenn-, Außenwänden und Umwehrungen.

b) Drahtputz- oder Rabitzwand. Drahtgeflecht (Rundeisen), Bekleidung mit Drahtgewebe und ein- oder zweiseitigem Bewurf aus Gipskalkmörtel, letzterer durch Beimengung von Kälberhaaren besonders schmiegsam hergestellt. Stärke von 5 cm an.

Hindurchtreten des Bewurfes durch die Maschen des Gewebes Bedingung. Findet auch als Unterkonstruktion leichter Stuckdecken und für Scheingewölbe Verwendung.

c) Zementdrahtputz- oder Monierwand unterscheidet sich von der Rabitzwand durch Verwendung festeren Drahtgewebes und Bewurf aus Zementmörtel.

Beide Ausführungen als feuersichere Ummantelung von Eisenkonstruktionen zulässig.

Als Ersatz für Drahtgewebe dient Streckmetall und Drahtgewebe mit aufgepresstem Tonkörperchen (Drahtziegelwand).

d) Feuersichere Wände aus beiderseits geputzten Brettern, aus Wellblech, Gipsdielen, Schilfbrettern (Gipsdielen mit Schilfeinlagen), Magnesit- und Xylolithplatten, Schwemm- und Korksteinen und zahlreichen anderen Materialien. Füllung hohler Wände mit unverbrennlichen, sich nicht umbildenden Stoffen.

7. Brandmauern. Die im Inneren der Gebäude in höchstens 40 m Abstand in ganzer Tiefe durch alle Geschosse mindestens 1 St. starken Brandmauern müssen die Dachflächen um wenigstens 20 cm überragen. Mit hölzernen und eisernen Dachstühlen nur durch Anker zu verbinden, also beiderseits der Wand ein Dachbinder erforderlich. Im Dachraume selbständig schließende doppelte feuersichere, meist eiserne oder eisenbeschlagene Türen.

d. Rauchröhren und Schornsteine.

Für einen Ofen ist ein Rohrquerschnitt von 80 qcm, demnach für drei Öfen ein Rohr 14×20 cm erforderlich. Kochherde, Waschküchen u. dgl. müssen gesonderte Rauchröhren erhalten. Jedes Rohr erfordert eine Reinigungstür im Kellergeschoß. Ziehen der Röhren (Schrägstellung) bis höchstens 60° . Die Schornsteine sind außen zu putzen

und innen auszufugen. Höhenlage des Schornsteinkopfes möglichst über Dachfirst, mindestens 30 cm über Dach. Alle Feuerungstüren sollen von geputztem oder verblendetem Holzwerk 40 cm, von freiem 80 cm entfernt sein.

Hölzerne Dachverbände sind von Schornsteinen mit nur 12 cm Wandstärke mindestens 10 cm entfernt zu halten. Balkenlagen müssen mindestens 6,5 cm Abstand haben und durch eine doppelte Lage von Dachsteinen isoliert werden.

Rauchröhren in Außenwänden möglichst zu vermeiden.

e. Keller. (Siehe auch Isolierschichten, Abb. 22.)

Grundmauern sind gegen aufsteigende Feuchtigkeit durch Gußasphalt von 1 cm Stärke, Asphaltplatten mit Filz-, Leinen- und Papp-einlage u. dgl. zu isolieren. Diese Schicht liegt bei hölzernen Fußböden in Höhe der Unterkante der Lagerhölzer, bei massiven dicht unter Fußboden.

Hölzerne Balkenlagen werden durch kleine ebenfalls isolierte Pfeiler von 25 × 25 cm Grundfläche unterstützt.

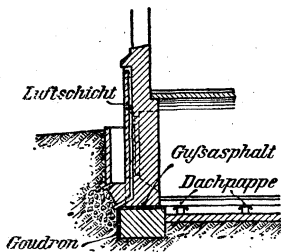
Die Kellersohle soll mindestens 30 cm über dem höchsten Grundwasserstande liegen, andernfalls sind die im Wasser liegenden Räume durch besondere Vorkehrungen zu dichten.

Gewöhnlich ist bei höherem Wasserstande erforderlich: dessen Senkung während der Bauzeit des Kellers, Herstellung einer leichten äußeren Schale aus Beton oder Mauerwerk (Zementmörtel), gegen die das Dichtungsmittel gelegt wird; innerhalb des so entstandenen Raumes die eigentlichen Grundmauern und der Fußboden, die neben den Gebäudelasten noch den Wasserdruck verteilen. Dichtungsmittel: besonders dreifache Lage von Dachpappe in reinem Bitumen verlegt, auch Tektolith (Leineneinlage statt Pappe) und Asphaltfilzplatten. Vrgl. Eisenbau, Abb. 149. Bei geringer Wasserstandshöhe Zusatz von Ceresit zum Mörtel und Putz. Diese Dichtung versagt jedoch bei Rissebildung.

Gegen Erdfeuchtigkeit und Sicker-

wasser genügt schon ein äußerer Goudronanstrich. Die isolierende Wirkung von Luftschichten, die bis zur Gebäudehöhe reichen sollen, setzt verständnisvolle Ausführung voraus. Vor allem ist dabei eine Verbindung des Hohlraumes mit der Außenluft durch über Dach geführte Luftschlitze (kein Schornsteinrohr) wesentlich. Durchbindende Steine sind besonders zu isolieren. Kellerfenster, die unter Straßenhöhe reichen, erfordern Kellerhölse oder durchlaufende Lichtschächte (Abb. 22). Niederschläge gehen von

Abb. 22.



der schrägen Fenstersohlbank durch Röhrchen in ein äußeres Kiesbett. Unterstützung der niedrigen, $\frac{1}{2}$ St. starken Umfassungsmauer durch Auskragung der Hauptwand.

Sind Kellerräume zum dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmt, so muß ihre lichte Höhe mindestens 2,8 m betragen und darf in der Regel nicht mehr als 50 cm unter dem Gelände liegen. Dieses Maß kann auf 1,0 m erhöht werden, wenn die Außenwände auf ganze Frontbreite Lichtgräben erhalten (Breite nicht unter 1,0 m, Sohle wenigstens 15 cm unter Kellerfußboden).

Diese Lichtschächte dürfen nicht mehr als 30 cm vor die Bauflucht treten, müssen mit Eisenrost abgedeckt oder einem Geländer von 1 m Höhe umgeben sein.

f. Gesimse

und zugehörige Drempelmauern sind in verlängertem Zementmörtel herzustellen. Bei gemauerten Gesimsen dürfen Steine nicht über 12 cm auskragen. Im Verblendbau kommen oft besondere Formsteine zur Verwendung. Putzgesimse größerer Ausladung werden durch besondere Eisenkonstruktionen getragen (Abb. 23). L-Eisen *a* in etwa 30 cm Teilung normal zur Frontwand in der untersten Schicht der Gesimsplatte verlegt, stützen sich auf Flacheisen 80×10 , welches nahe der äußeren Wandflucht durchläuft. Träger, an eiserner Dachkonstruktion befestigt, bietet Gegendruck.

Auch bei Hausteingesimsen wird oft eine eiserne Hilfskonstruktion erforderlich, wobei eine unmittelbare Belastung der Fensterstürze vermieden wird. Abb. 24 zeigt die Benutzung der ausgekragten Deckenträger, die auf den Fensterstursträgern ruhen, an ihren Freienden den Gesimshauptträger stützen und zur größeren Sicherheit eine Verankerung nahe Wandinnenflucht aufnehmen.

Die Deckflächen der Gesimse sind mit Zink- oder besser Kupferblech abzudecken.

g. Maueröffnungen.

1. Fenster. Zweiflüglige 0,9 bis 1,25 m, höchstens 1,50 m, dreiflüglige 1,5 bis 2,5 m breit. Höhe bei zweiflügligen 2 bis $2\frac{1}{3}$ -fache Breite. Fensterstürze, meist schiefechte Bogen, erfordern unbelastet 25 cm, belastet 38 cm und mehr Höhe oder Anordnung von eisernen Wechsell. Fensterbrüstung 80 bis 90 cm hoch.

Fensteranschlänge bei einfachen Fenstern 7 cm breit, 12 cm tief, Doppelfenstern 10×12 , Kellerfenstern 7×25 cm.

Fenstersohlbank bei Verblendbau durch schräge Rollschicht, bei Putzbau durch Flachsicht, auch aus Werkstein gebildet. Sohlbank und Sturz aus Werkstein erhalten Entlastungsfugen. Brüstungen nicht unter 25, besser 38 cm oder 42 cm mit Luftschicht stark.

2. Türen. Breite 0,7 bis 2,5 m. Höhe höchstens doppelte Breite, aber nicht unter 2 m.

Durchfahrten in Verbindung mit Haupthöfen sind so anzuordnen, daß im Erdgeschofs der Weg von einem beliebigen Punkt bis ins Freie (Hof, Durchfahrt, Straße) nicht mehr als 20 m beträgt. Für Grundstücke von weniger als 35 m Tiefe Durchfahrten nicht vorgeschrieben. Anschläge von Haustüren und Toren 25 cm tief und 12 cm breit. Sturze aus schiefechten oder gewölbten Bogen oder I-Trägern. Maueröffnungen für innere Türen 8 cm breiter und 4 cm

höher als die Lichtmaße der Türen. Konstruktion von Fenster- und Türbogen s. h) 2.

h. Gewölbe.

Inhaltsberechnung von Gewölben s. I. Bd. Abschn. Mathematik, VII. Inhalt von Körpern.

Statische Berechnung III. Bd. Abschn. Statik der Baukonstruktionen, IV. Gewölbe.

1. Konstruktion der Gewölbe.

a) Ellipsen s. I. Bd. Abschn. Mathematik, VI. 1. Mit Krümmungskreisen, 2. mit Hülfe der beiden Halbachsen, 3. durch Vergatterung. Sind bei Bogen ungleicher Kämpferhöhe Neigung, Pfeilhöhe und Spannweite gegeben, so führt 3 zum Ziel.

b) Korbbogen häufiger verwendet als Ellipsen.*)

Zusammengesetzt aus ungerader Anzahl stetig ineinander verlaufender Kreisbogen.

α) Kämpfer auf derselben Höhe (Tonnengewölbe, Fensterbogen). Gegeben Spannweite und Pfeilhöhe:

I. Drei Kreisbogen (Abb. 25).

Halbiere $\sphericalangle acd$ und $\sphericalangle cad$, errichte im Schnittpunkt g der

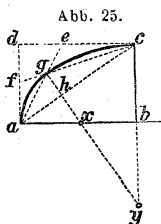


Abb. 25.

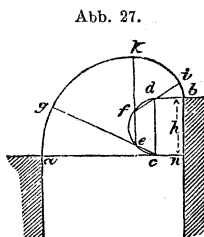


Abb. 27.

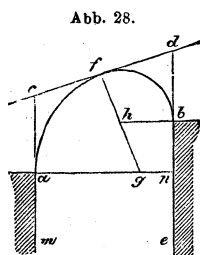


Abb. 28.

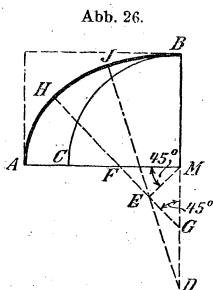


Abb. 26.

Halbierungslinien Lot $gh \perp ac$, dann schneidet dieses Lot die Gerade ab und die verlängerte Gerade bc in den Mittelpunkten x und y der Bogen ag und ge .

II. 5 Kreisbogen (Abb. 26).

Kreis mit MB um M schneidet AM in C . Halbiere AMD . Auf Halbierungslinie mache ME gleich AC . errichte Lot auf ME ; es schneidet AM in F und MB in G . Verlängere GM um sich selbst bis D . Dann sind DB , EJ und FA die Halbmesser der Kreisbogen BJ , JH und HA .

β) Kämpfer in verschiedenen Höhen (Treppengewölbe).

I. (Abb. 27). Gegeben Spannweite an und Höhe nb von b über a .

Mache $nc = \frac{1}{2} na - \frac{3}{4} nb$, $cd \parallel nb$, beschreibe über cd einen

*) S. a. Puller, Berechnung von Korbbogen. Z. d. B. 1894.

Halbkreis, mache $df = fe = ec$; ziehe fd , ef und ce , dann sind d , f , e , c die Mittelpunkte der Kreisbogen bi , ik , kg und gn .

II. (Abb. 28). Gegeben Kämpferpunkt a , Spannweite an und Scheitellinie cd . Widerlager ma und eb sind parallel. — Verlängere ma bis c und en bis d , mache $cf = ca$ und bestimme b dadurch, daß $bd = df$, errichte in f auf cd ein Lot fg ; g ist dessen Schnittpunkt mit nm . Ziehe $bh \parallel na$, dann sind h und g die Mittelpunkte der Kreisbogen bf und fa .

2. Ausführung von Bogen.

Soll ein Bogen nach dem Setzen die verlangte Form haben, so ist das Lehrgerüst mit Ueberhöhung ($\frac{1}{200}$ bis $\frac{1}{80}$ der Spannweite) herzustellen. Das Ausrüsten erfolgt noch vor vollständiger Erhärtung des Mörtels. Allmähliches Lüften (Keile, Sandsäcke, Sandtöpfe). Bogen aus Ziegelmauerwerk in der Regel 1 bis 2 St. stark. Bei ungünstigen einseitigen oder großen Einzellasten und ungünstiger Bogenform wird eine bessere Lastverteilung durch Entlastungsbogen (Abb. 29, 32) oder durch Verteilungsträger bewirkt.

Die Anfänger unverblendeter Bogen führt man zweckmäßig mit wagerechten Fugen aus, wobei die so entstehende Widerlagerfuge mit der Kämpferlinie Winkel bis 30° und mehr Neigung einschließt (Abb. 29).

Bei schwachen Widerlagern nehmen Zugstangen (mit langen Splinten oder Platten) den Bogenschub auf (Abb. 30, 32, 36, 37).

Geht der Anker durch die Scheitelfuge, so muß er nahe der inneren Leibung verlegt werden. Stark auseinandergehende Fugen, die bei kleinem Krümmungshalbmesser oder großer Bogenstärke entstehen, verursachen nach der Ausrüstung starkes Setzen des Gewölbes.

Gewölbe, die aus mehreren übereinanderliegenden, nicht im Verband stehenden Ringen gebildet werden, sind in statischer Beziehung unklar. Besser ist es, starke Gewölbe aus einzelnen größeren Bogen teilen, die an sich nur parallele Fugen enthalten, zusammenzusetzen. Die zwischen 2 Hauptteilen liegenden Fugen sind durch Verhau herzustellen. Derartige Bogen zeigen:

Abb. 29. Bogen zur Entlastung der wenig tragfähigen Säule eines gekuppelten Bogens.

Abb. 30. Der zwei schwere Pfeiler tragende Korbbogen besteht aus drei Mauerstreben, die mit der Verankerung ein doppeltes Sprengewerk bilden. Die Fugen stehen winkelrecht zur Druckrichtung.

Abb. 31. Entlastung zweier Säulen einer hochbelasteten Mittelwand. Der Spannriegel des doppelten Sprengewerkes, ein scheitrechtler Bogen, ist durch den oberhalb angeordneten Bogen entlastet. Aufnahme der Schübe durch Verankerungen. Widerlagersteine aus Beton.

Abb. 32 eine der vorigen ähnliche Abfangung. Die hochbelastete Giebelwand ruht auf eisernem Gitterträger, der mittels eiserner Schuhe den Schub des Sprengewerkes aufnimmt.

Strebebogen und Mauerstreben finden im Kirchenbau Verwendung, wenn Pfeiler in unzulässiger Weise durch einseitig wirkende Schübe belastet werden. Letztere werden dabei durch den Gegenschub des Strebenkopfes ausgeglichen, während der Strebenfuß den gleichen

Abb. 29 bis 34.

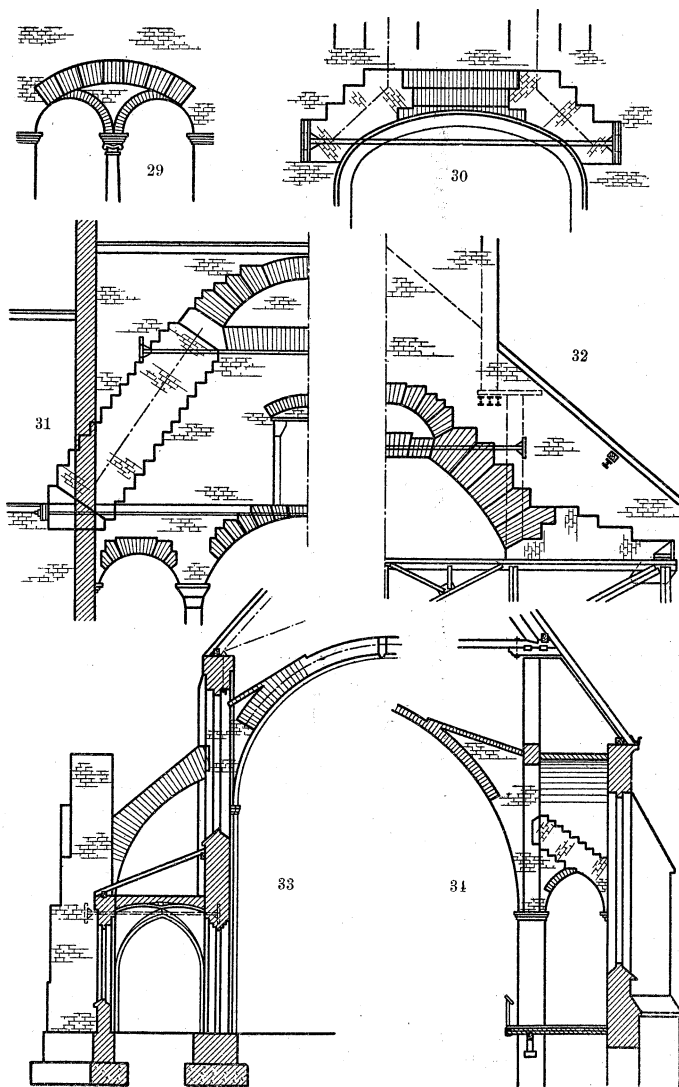
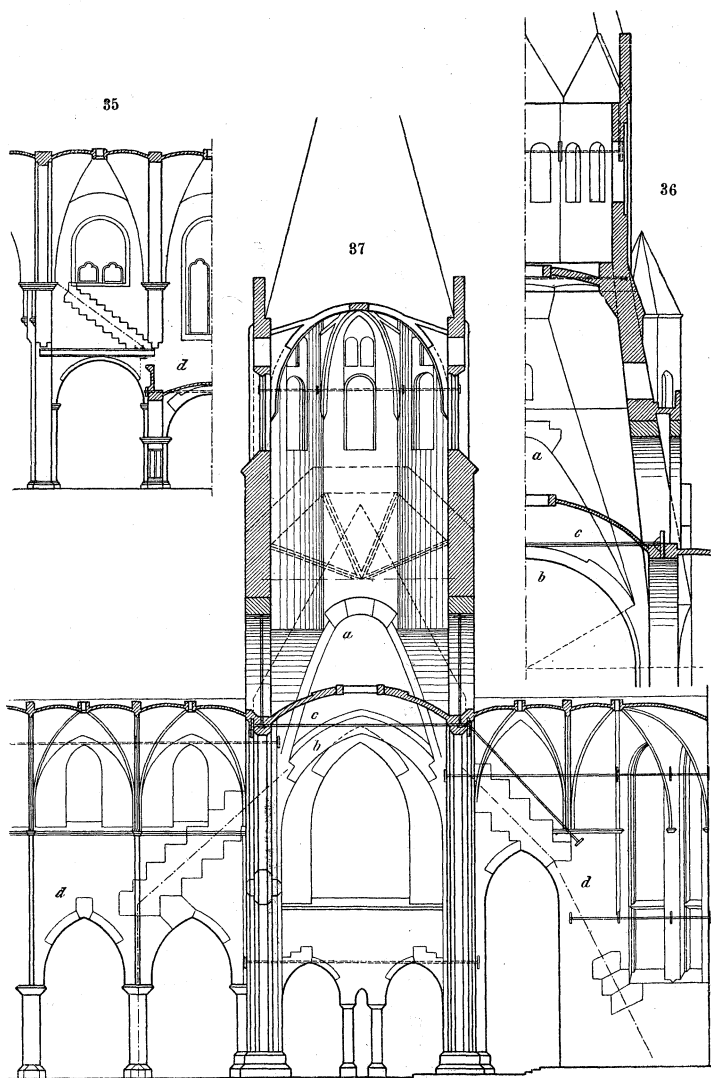


Abb. 35 bis 37.



Schub mittel- oder unmittelbar an feste Punkte abgibt. Die Strebenbogen werden winkelrecht zur Druckrichtung angeordnet.

Abb. 33 zeigt die bekannte Anordnung des Strebebogens einer dreischiffigen Kirche, wobei der Bogen oberhalb des Seitenschiffes freiliegt.

Bei Abb. 34 liegt die Mauerstrebe innerhalb des Seitenschiffes und ist zum Teil mit dem Gewölbegurt vereinigt.

Die Anordnung nach Abb. 35 bezieht sich auf eine Kirche in Kreuzform. Der auf die Vierungspfeiler wirkende Schub der Vierungsbogen wird durch Mauerstreben, welche in den Wänden des Haupt- bzw. Kreuzschiffes oberhalb der Wandöffnungen liegen, ausgeglichen. Die Untermauerung der Streben (poröse Steine) liegt auf eisernen Trägern, unter welchen sich die leichten Bogen der Wandöffnungen spannen.

Der geringe Schub dieser Bogen ist für die Pfeiler belanglos. Mauerkörper *d* versteift den Strebenfuß des Hauptschiffes gegen den Glockenturm.

Abb. 36. Der Glockenturm ist über den Vierungspfeilern errichtet. Oberhalb des Hauptgewölbes verjüngen sich die Turmwände. Steil gestellte Bogen *a* entlasten die Vierungsbogen *b*. Dabei geht der Turmquerschnitt vom Acht- in das Vierseit über.

Durch Hauptverankerung *c* oberhalb des Vierungsgewölbes wird die Aufnahme des größten Teils der vom Eigengewicht herrührenden Schübe möglich.

Abb. 37. Der prismatische Glockenturm steht gleichfalls auf den Vierungspfeilern.

Kuppelgewölbe als oberer Abschluss der Glockenstube. Aufnahme des Schubes durch Ringanker in Kämpferhöhe der Schallöffnungen. Die Ueberführung der Acht- in die Vierseitform des Turmes vermitteln Mauerzwickel, zwischen welche sich die vier Entlastungsbogen *a* der Vierungsbogen spannen. Schübe der Zwickel und Entlastungsbogen werden durch Ringanker *c* aufgenommen, vier lotrecht gestellte Anker oberhalb *c* dienen den Turmfüßen als Sicherung. Zur Aufnahme der vom Hauptgewölbe und Vierungsbogen auf die Vierungspfeiler treffenden Schübe, die in großer Höhe über Fußboden wirken, war Verankerung unzulässig. Daher gleich gebildet wie bei Abb. 35. Abb. 37 zeigt die Form der Mauerstreben in den Wänden des Hauptschiffes und der Apsis. Im Kreuzschiff ähnlich.

3. Gewölbearten.

Angaben über Materialverbrauch aus der D. f. d. L. (S. 4).

s = Scheitelstärke, l = Spannweite, W = Widerlagerstärke.

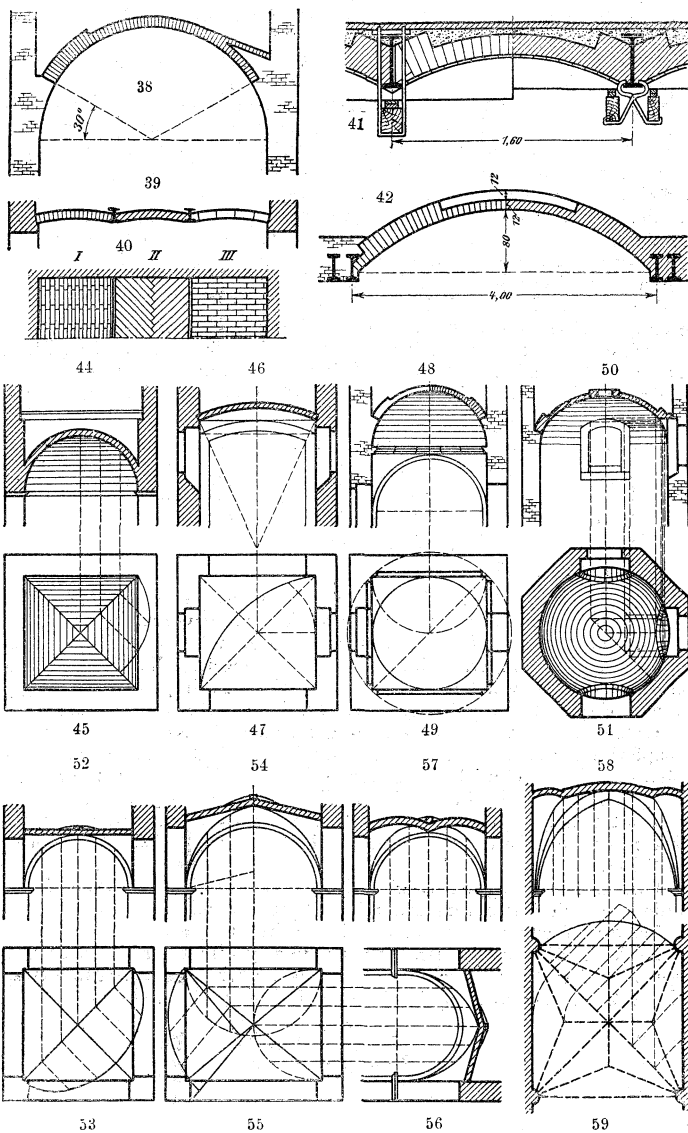
a) Tonnengewölbe, nach der Linienführung zu unterscheiden halbkreisförmige, überhöhte, gedrückte, steigende, spindelförmige.

Abb. 38. Querschnitt einer halbkreisförmigen Tonne, Kämpferfugen auf Halbmesser von 30° Neigung. Verstärkte Seitenteile der Tonne in üblicher Weise oder auch mit Rollschicht gebildet.

Ausführung der Wölbung Abb. 39 u. 40.

Auf Kuff I, Schwalbenschwanz II und Rutschbogen III.

Abb. 38 bis 42 und 44 bis 59.



Stärken des Gewölbes bei 250 kg/qm Nutzlast:

l bis 4 m, $s = \frac{1}{2}$ St.

$l = 4$ bis 6 m, $s = \frac{1}{2}$ St. mit Verstärkungsrippen in 1,5 bis 2,5 m Abstand von $\frac{1}{2}$ St. Breite und 1 St. Stärke.

l über 6 m, $s = 1$ St. mit $1\frac{1}{2}$ St. breiten und starken Verstärkungsrippen.

Widerlagerstärke bei Gewölben von Halbkreisform $W = \frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5} l$, bei gedrückten $W = \frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4} l$, überhöhten und spitzbogigen $W = \frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6} l$. Solche Zahlenangaben haben nur die Bedeutung als vorläufige Annahmen für die statische Untersuchung.

Belastete Tonnengewölbe von größerer Spannweite finden sich im Hochbau nur ausnahmsweise, wenn, wie bei Kellerdecken, die Aufnahme des Schubes keine Schwierigkeiten bereitet. Sonst ist wegen der schwierigen Verankerung die Anordnung freitragender Balkendecken oberhalb des Gewölbes vorzuziehen.

Kassettengewölbe sind Tonnengewölbe, welche Verstärkungs- und besondere Längsrippen an der unteren Leibung zeigen.

Gebüste Tonnengewölbe sind solche mit gekrümmter Mantellinie. Tonnengewölbe mit steigendem Scheitel oft in Form von Stichkappen.

Materialverbrauch für Tonnengewölbe einschl. Hintermauerung.

1. Halbkreisförmige Gewölbe,

2. gedrückte Gewölbe erfordern für 1 qm Grundfläche:

1. $s = \frac{1}{2}$ St., l bis 5 m: 95 Steine, 0,07 cbm Mörtel

2. $s = \frac{1}{2}$ „ „ „ 5 „ 90 „ 0,065 „ „

1. $s = 1$ „ „ über 5 „ 190 „ 0,14 „ „

2. $s = 1$ „ „ „ 5 „ 180 „ 0,13 „ „

Lehrgerüst S. 355.

b) Kappengewölbe (preussische Kappen) Abb. 41, 42. Drei Möglichkeiten der Ausführung wie beim Tonnengewölbe, vrgl. Abb. 40.

Für hochbelastete Decken besonders geeignet. Widerlager durch Gurtbogen oder Träger. Abb. 41 zeigt gleichzeitig die übliche Form des Lehrgerüsts, welches entweder mit eisernen Bügeln oder Zangen an den Kappenträgern hängt oder durch Holzpfosten unterstützt ist.

Treten an Stelle eiserner Träger gemauerte Gurtbogen, so liegt die Kämpferlinie der Kappen 8 cm über Innenscheitel des Gurtbogens. Stützweite l gewöhnlich zwischen 0,8 und 3,5 m, sonst übrigens unbegrenzt. $W = \frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{5} l$. Pfeilhöhe $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{12} l$, normal $\frac{1}{8} l$. Bis $l = 2,5$ m genügt $s = \frac{1}{2}$ St., über 2,5 m $= \frac{1}{2}$ St. Stärke und Verstärkungsurte erforderlich. Letztere 1 St. stark in Abständen von 1,5 bis 2,5 m.

Von 4 m Kappenweite ab wird s an den Widerlagern 1 St., mittlerer durch Gurte verstärkter Teil $\frac{1}{2}$ St. stark.

Bei 5 m Weite wird 1 St. Scheitelstärke erforderlich.

Decken, die aus Reihen von Kappen gebildet sind, erhalten in zwei oder drei Endfeldern durchlaufende Anker. Ihr Abstand beträgt 1,5 bis 2 m. Halbmesser der inneren Leibung (Abb. 43)

$$r = \frac{1}{2 \cdot h} \left(\frac{l^2}{4} + h^2 \right).$$

Krümmungshalbmesser der Mitteldrucklinie genau genug $\rho = r + \frac{1}{2} s$.

Horizontalschub $H = \rho \cdot z_0 \cdot \gamma$, wenn z_0 die Belastungshöhe im Scheitel und γ das Einheitsgewicht des Bogenmauerwerks ist.

Die preußische Kappe erfordert für 1 qm Grundriss bei $s = \frac{1}{2}$ St. 75 Steine und 0,055 cbm Mörtel; wenn alle 3 m ein Verstärkungsgurt von $\frac{1}{2}$ St. Breite und 1 St. Höhe, 82 Steine und 0,06 cbm Mörtel.

Gewicht der preussischen Kappe aus Hintermauerungssteinen für 1 qm Grundriss:

bei $l = 2,0$ m, $s = \frac{1}{2}$ St. . . . 245 kg

„ $l = 2,5$ „ $s = \frac{1}{2}$ „ . . . 250 „

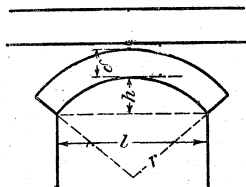
mit Lagerhölzern 10×10 cm, Dielung, Deckenputz, Füllung Koksasche

bei 2,0 m Weite 340 kg

„ 2,50 „ „ 370 „

(Vrgl. V. Decken.)

Abb. 43.



c) Klostergewölbe (Abb. 44 u. 45). Entsteht aus zwei oder mehr sich schneidenden Tonnengewölben. Verband in zum Widerlager parallelen Schichten oder mit Schwalbenschwanz.

Verstärkungsrippen in den Kehlen. Bei quadratischem Grundriss Gewölbestärken wie bei Tonnengewölben. Stärke der Widerlager jedoch nur $\frac{2}{3}$ der von gleich großen Tonnengewölben, bei rechteckigem Grundriss mehr.

Stichkappen, bei Fensteröffnungen erforderlich, dienen oft nur zur Ausschmückung.

Ein Klostergewölbe, das Räume von 8 oder mehr Ecken überspannt, heißt Kuppel.

d) Böhmisches Kappe (Abb. 46 u. 47). Ueber quadratischem, rechteckigem oder vieleckigem Raum aus einer Halbkugel gebildet. Die Stülbogen sind Kreissegmente.

Wölbung auf Schwalbenschwanz oder in Ringen. Flächen der Lagerfugen gehen durch den Mittelpunkt der Kugel. Bei unregelmäßiger Grundfläche liegt der Kugelmittelpunkt auf der im Schwerpunkt der Grundfläche errichteten Senkrechten. Spannweiten nicht über 5 m bei Pfeilhöhe von $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$ der Spannweite, Scheitelstärke meist $\frac{1}{2}$ St. Widerlagerstärke $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4} l$, bei 2 m Spannweite jedoch nicht unter $2\frac{1}{2}$ St.

Materialbedarf für 1 qm Grundriss ausschließlich Hintermauerung und Gurtbogen bei $\frac{1}{2}$ St. Stärke 56 Steine und 0,04 cbm Mörtel, bei $\frac{1}{4}$ St. Stärke 28 Steine und 0,037 cbm Mörtel.

Statt der reinen Kugelwölbung kommen auch anders profilierte Drehkörper zur Verwendung.

e) Kuppelgewölbe (Abb. 48 u. 49). Halbkugel über rundem, quadratischem oder vieleckigem Grundriss. An Stelle der Halbkugel auch Ellipsoid (Abb. 50 u. 51) oder anderer Umdrehungskörper. Der grösste Kreis berührt die Mitte der Seiten.

Ausführung in Ringen oder Schwalbenschwanz.

Uebergang von Kugel zum Vieleck oder Quadrat durch Zwickel. Zwischen Gewölbe und Zwickel kann ein Zylinder (Tambour) eingefügt werden. Bei nicht geschlossenem Gewölbe (Lichtöffnung) muß ein gurtartiger Schlufskranz ausgeführt werden. Aufsätze über Lichtöffnungen heißen Laternen. Bei großen Kuppeln kann die Hintermauerung strahlenförmig (mit Zwischenräumen) angelegt werden (Sporen).

Bei Kuppelgewölben über quadratischem Grundrifs kann genommen werden:

Spannweite	bis 4 m	bis 6 m	bis 8 m	bis 10 m
Stärke im Schlußstein .	$\frac{1}{2}$ St.	1 St.	1 St.	1 St.
„ am Kämpfer . . .	$\frac{1}{2}$ „	1 „	$1\frac{1}{2}$ „	2 „

Stichkappen bei Fenstern sind Teile von Kegelflächen mit kreisrunder oder elliptischer Grundfläche. Die Achse der Kegel geht durch den Mittelpunkt der Kuppel. Zur Aufnahme der Dachdeckung können besondere Schutzkuppeln aus Stein oder Eisen dienen.

f) Hängekuppel. Ueber quadratischem, rechteckigem oder vieleckigem Grundrifs aus der Halbkugel gebildet, deren größter Kreis durch die Ecken des Raumes geht; die Stirnbogen sind demnach Halbkreise.

Ausführung wie vor.

g) Kreuzgewölbe (Abb. 52 bis 57). Zusammensetzung von vier Stichkappen, Teile zweier Halbzylinder von gleicher Scheitelhöhe.

Die vier das Klostergewölbe bildenden Teile der Zylinder fallen fort. Bei rechteckigem Grundrifs ist der Stirnbogen über der kleineren Seite gewöhnlich Halbkreis, über der größeren Ellipse von gleicher Höhe.

Abb. 52 u. 53 Kreuzgewölbe ohne Stich und Busen, Abb. 54 bis 56 mit geradem Stich, nur bei spitzbogigem Grat ausführbar, Abb. 57 mit Busen ohne Stich. Der Gratbogen des gotischen Kreuzgewölbes ist ein Halbkreis, die Schildbogen sind Spitzbogen mit dem Halbmesser des Gratbogens. Wölbung aus den Ecken heraus auf Schwalbenschwanz, bei Gewölben ohne Stich und Busen Auskragen wie beim Tonnengewölbe. Stich der Kappen $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{30} l$.

Bei Eckpfeilern ohne Vorsprünge müssen Stirnbogen und Gratbogen gestelzt werden. Die Gratbogen werden oft als Verstärkungsrippen ausgebildet. Zeichnung der Projektionen und Austragung des Gratbogens vgl. Abb. 54 bis 56. Widerlagerstärke bei halbkreisförmigen oder flachbogigen Gewölben wird angegeben zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$, bei spitzbogigen zu $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{5}$ der Diagonale des Grundrisses.

Uebliche Stärke der Kreuzgewölbe in cm.

Weite l	Kappen		Grate	
	Scheitel	Kämpfer	Scheitel	Kämpfer
bis 6	12	12	25 × 25	25 × 25
6 bis 9	12	25	25 × 38	38 × 38
9 bis 18	25	38	38 × 38	51 × 38

Materialbedarf für 1 qm Grundrifs. Halbkreisförmige Kreuzgewölbe, Kappen 12 cm stark, Grate 38 breit, 25 hoch, erfordern

125 Steine und 0,09 cbm Mörtel; flachbogige gleicher Abmessung
95 Steine und 0,07 cbm Mörtel.

h) Sterngewölbe (Abb. 58 u. 59) sind Kreuzgewölbe, deren Kappen zwischen Grat- und Stirnbogen noch Zwischenrippen erhalten, so daß sternförmige Figuren entstehen.

Liegen die Schnittpunkte der Rippen auf einem Halbkugelmantel, so sind die Diagonalrippen kreisförmig; die übrigen Rippen haben denselben Halbmesser. Ihre Mittelpunkte liegen unterhalb der Kämpferebene, daher Knickbogen.

Sind alle Rippen Schnittkurven der Halbkugel, also Kreisbogen, so sind die Halbmesser sämtlich verschieden, die Mittelpunkte liegen aber in der Kämpferebene. Werden Stirnbogen als Spitzbogen beliebig gezeichnet, so werden die Kappen zwischen den Rippen mit Busen gewölbt.

Erhalten die Rippen keine vortretenden Profile, so erscheinen die Grate durch die Busenwölbung. Bei reichen Sterngewölben auch Entwicklung nach dem Prinzipalbogen.

Widerlager- und Gewölbestärke wie beim Kreuzgewölbe.

i) Massive Turmhelme mit vier- oder mehrseitigem Grundriß, aus Quadern oder Verblendziegeln mit Hintermauerung. Fugen winkelrecht zur Steigungslinie. Wenn wagerecht, ist die Verwendung aufsen schräger Formsteine der normaler Ziegel vorzuziehen. Mindeststärke der Turmwand oben bei größeren Abmessungen 25 cm, unten alle 5 m um $\frac{1}{4}$ St. zunehmend. Spitze vollgemauert. Lüftung des Hohlraumes notwendig. Bekrönung aus einem größeren Stück. Statische Untersuchung des Helmes notwendig. Ringanker am Fuß zur Aufnahme des Schubes.

4. Senkung (f) der Rüstungen für Gewölbe.

Ist h die Pfeilhöhe, so ist bei bester Ausführung für hängende Lehrgerüste $f = 0,01 \cdot (l - h)$, für stehende Gerüste $f = 0,005 \cdot (l - h)$.

II. HOLZKONSTRUKTIONEN.

a. Abmessungen der Hölzer.

Hölzer und Bretter von Normalabmessungen, siehe I. Bd., Abschnitt Stoffkunde IX, im Handel noch nicht gebräuchlich. Handelsübliche Abmessungen in Berlin sind:

1. Kieferne Verbandhölzer und Balken (bis 8 m lang)

8/8, 10/10, 10/13, 13/13, 13/16, 13/18, 16/16, 16/18, 18/21,
21/21, 13/24, 21 24, 13/26, 21/26, 24/29 cm.

2. Kieferne Bohlen, sogen. Zangenbohlen

5 cm stark in Breiten von 18 bis 30 cm

6 " " " " " 18 und 21 "

8 " " " " " 18 " 21 "

3. Kieferne besäumte Bretter

2, 2,5, 3, 3,3, 4 cm stark.

4. Kieferne Stammbretter zu Fußböden

Stärke. 3, 3,5, 4,2 cm,
 nach dem Hobeln . 2,6 bis 2,7, 3,3, 4 „

b. Holzverbände.

Gering belastete **Pfosten** aus Rund- und Kanthölzern werden mittels eisernen Dornes aufgefropft oder (bei stumpfem Stofs) mittels Flacheisenschienen, Nägel, Holzschrauben, Bolzen und Krammen verbunden. Der Querschnitt stark belasteter Pfosten wird aus zwei oder mehr Hölzern gebildet, die untereinander verdübelt, verschraubt und bei grosser Höhe aus mehreren Längen mit versetzten Stößen zusammengesetzt werden.

In den Stößen oft Einlagen aus Zinkblech oder Walzblei, am Kopf zur Lastverteilung besondere eiserne Platten. Fufs der Pfosten durch Holzschwellen oder eiserne Fufsplatten gebildet (Abb. 32 u. 33).

Balken.

Bei gleicher Höhenlage der Balken und gleicher Flucht wird der Stofs gewöhnlich gerade (Abb. 1), selten schräg (Abb. 2) ausgeführt. Eisenschienen und Klammern, die beide Balkenenenden verbinden, wirken wie Anker.

Seltener kommen beim Stofs von Balken, die Zugkräfte übertragen sollen, die nachfolgend angeführten Holzverbindungen zur Anwendung.

Einfache und schräge (Abb. 3) **Verblattung**, Sicherung durch Holznägel. Doppelte Verblattung mit geradem (Abb. 4) oder schrägem (Abb. 5) Hakenblatt. Verstecktes gerades oder schräges (Abb. 6) Hakenblatt; mühevoller Zimmerung.

Gerader Stofs mit eingesetztem doppelten Hakenblatt (Abb. 7).

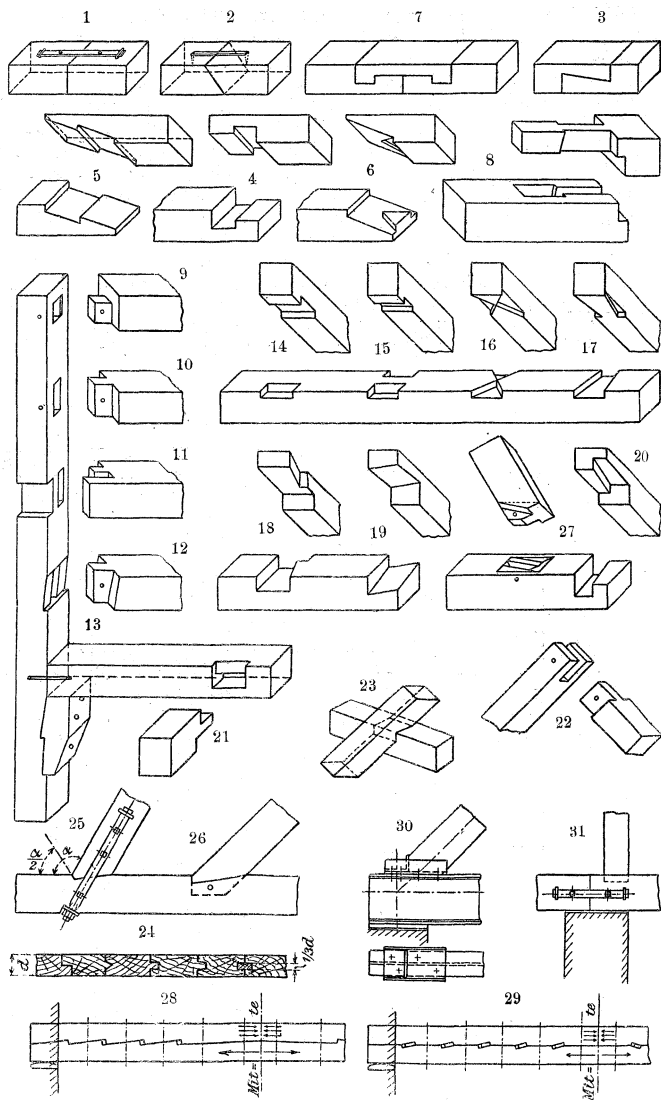
Verbindung von Schwellen durch verborgenen Hakenkamm (Abb. 8).

Bei Verbindung mit Pfosten werden die Balken eingezapft. Abb. 9 gerader, Abb. 10 zurückgesetzter gerader, Abb. 11 doppelter Zapfen mit Blatt, Abb. 12 Zapfen mit schrägem Versatz. Besser Knaggenlager Abb. 13. Greifen Balken und Pfosten übereinander, so verbindet man sie durch **Verkämmung**, Verstärkung der Balken durch Sattelhölzer und Kopfbänder (Abb. 32 u. 33).

Balken, welche auf Schwellen und Unterzügen aufliegen, sichert man gleichfalls durch **Verkämmung**. Abb. 14 einfache Seiten-, Abb. 15 Mittel-, Abb. 16 kreuzförmige, Abb. 17 schwalbenschwanzförmige Verkämmung.

Liegen die Oberkanten der Schwellen bündig, so verbindet man sie durch **Verblattung**. Ausser der einfachen noch schwalbenschwanzförmige (Abb. 18), an Ecken schräge Ueberblattung (Abb. 19), solche mit halbem Schwalbenschwanz (Abb. 20), gerader (Abb. 21) und schräger Brustzapfen. Sparren werden über dem Firstrahm oft stumpf gestossen (Nagelung), besser jedoch durch den Scherenzapfen (Abb. 22) verbunden; sie lagern mittels Klauung (Abb. 23) auf Rähmen (Pfetten)

Abb. 1 bis 31.



und Fußschwellen (Mauerlatten) auf. Beim Fehlen des Firsträhmes muß der Scherenzapfen verwandt werden.

Verbindung von Brettern und Bohlen zu Böden und Wänden durch **Spundung**. Abb. 24 halbe, dreieckige, quadratische, Keil- und Feder-spundung. Letztere sparsam im Holzverbrauch. Federn wohl aus Hartholz.

Streben werden in Schwellen und Spannbalken eingesetzt mit ein-fachem **Versatz** (Abb. 25), seltener mit Zapfen — offen Abb. 26, verdeckt Abb. 27 —, mit doppelten (Abb. 34) und mehrfachen Versatz mit und ohne Zapfen. Einlagen aus Zinkblech bei der Stirnung.

Um beide Flächen gleich hoch zu beanspruchen, Anordnung der Stirnung in der Winkelhalbierenden (Abb. 25), einfacherer Ausführung halber oft senkrecht zur Balkenachse (Abb. 26), wobei jedoch Vorholz leichter abspaltet.

Sicherung der Versatzverbindungen durch nach-ziehbare Eisenteile, wie Flacheisenschienen mit Ge-windeendigung, Muttern und Brücke (Abb. 25), oder einfacher durch Bolzen (Abb. 34a). Stöße der Balken auf tragenden Mittelwänden (Abb. 31, 31a).

Abb. 31 a.

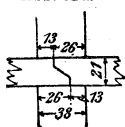


Abb. 32.

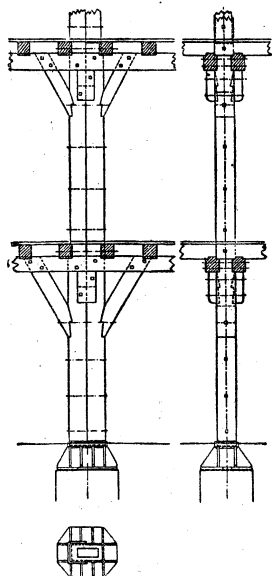


Abb. 33.

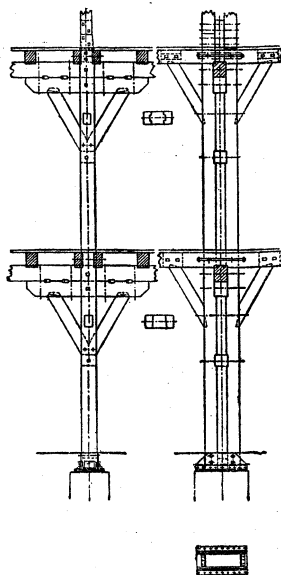


Abb. 32 u. 33 Speichersäulen und Decken für hohe Lasten. Wegen guter Feuersicherheit noch vielfach verwendet.

Abb. 32 Säulen aus zwei zusammengestellten Hölzern, Deckenunterzüge aus zwei mit entsprechendem Abstand verlegten Balken gebildet, welche die Säulen mit seitlichem Kamm umfassen und auf Säulenknaggen ruhen. Kopfbänder bilden erforderliche Eckversteifungen. Die Säulenfüße stehen auf gußeisernen Fußplatten mit oberem Rand, der Verschiebung verhindert.

Abb. 33. Die Pfosten werden aus zwei mit Abstand angeordneten Hölzern gebildet, welcher eine Durchführung des einteiligen, durch Sattelholz verstärkten Unterzuges gestattet. Kopfbänder wie vor, Fußplatten aus Walzeisen.

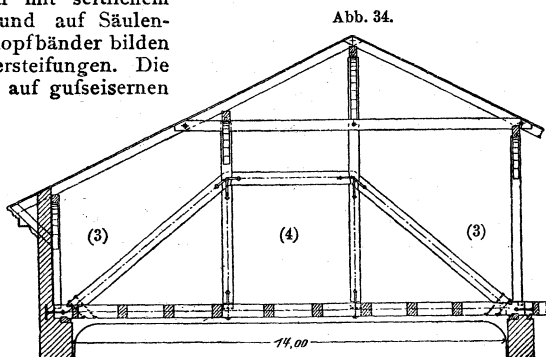


Abb. 34 a.

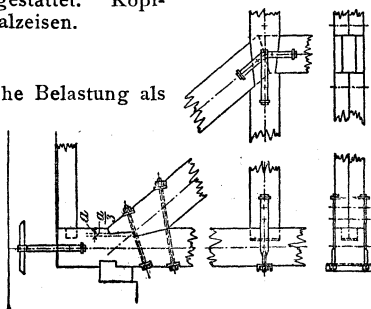
c. Tragwerke.

Für größere Stützweite und hohe Belastung als Unterzüge angewendet, wobei sie in der Regel in den Pfeilerachsen liegen.

Alle Tragwerke größerer Abmessungen sind wegen starken Setzens der Holzverbindungen mit einer der Durchbiegung entsprechenden **Ueberhöhung** herzurichten. Die Flächen der Stirnungen, die Hauptsystemkräfte übertragen, müssen Hirnflächen sein.

Schraubenbolzen der Verbindungen, wegen der weiten Löcher eher auf Biegung als Scherung beansprucht, wirken vorwiegend nur durch die Reibung, welche die scharf angezogenen Bolzen verursachen.

Entsprechend große Unterlagsscheiben für Kopf und Mutter unerlässlich.



1. Verdübelte und verzahnte Balken.

Verbindung von zwei oder mehr übereinander liegenden Balken durch Dübel, bzw. Zähne und Bolzen zu einem einheitlich wirkenden Träger, Abb. 28 u. 29.

Höhe h des letzteren etwa gleich $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ der Stützweite. Erforderliche Ueberhöhung etwa $\frac{1}{60}$ der Weite. Höhe der Dübel (Hartholz, Breite $0,3h$ bis $0,5h$) und Zähne nicht unter $0,1h$, Teilung bei den Auflagern h , nach der Mitte hin bis zu $2h$ zunehmend. Sicherung

der Stirnungen der Dübel und Zähne durch Zinkblechstreifen. Wirksame Verdübelung aus je zwei Keilen, die senkrecht zur Balkenachse angetrieben werden. Gleiche Einrichtung bei Verzahnung empfehlenswert. Bolzen 26 mm Dmr. und mehr. Widerstandsmoment gleich $\frac{2}{3}$ desjenigen eines gleich großen gewachsenen Querschnittes zu schätzen.

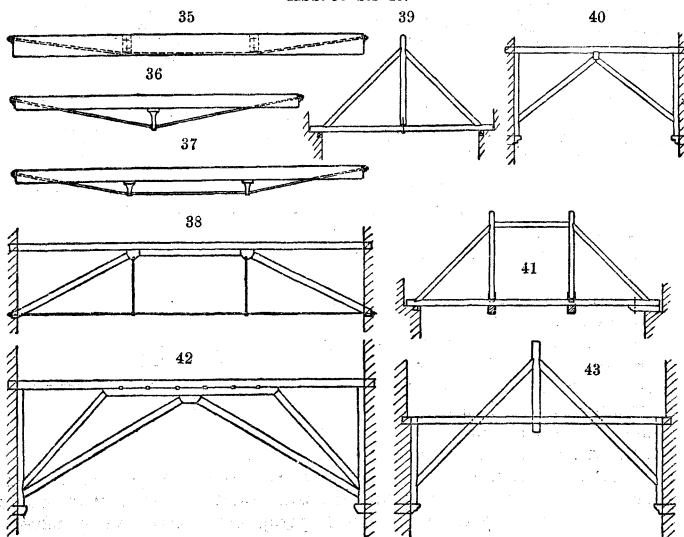
Gufs- oder schmiedeiserne Auflagerplatten zu gleichmäßiger Druckverteilung erforderlich.

2. Fachwerke.

Hänge- und Sprengwerke.

Balken mit Eisen bewehrt (armiert), Abb. 35 u. 37 doppeltes, Abb. 36 einfaches Hängewerk. Abb. 38 doppeltes Sprengwerk, zweimalige Aufhängung der Spannstange. Abb. 39 bis 43 Hänge- und Spreng-

Abb. 35 bis 43.



werke nur aus Holz und Kleiseisen. Abb. 39 einfaches, Abb. 41 doppeltes Hängewerk mit Spannbalken. Abb. 40 einfaches, Abb. 42 mehrfaches Sprengwerk, beide mit frei auf die Auflager wirkendem Schub. Abb. 43 Vereinigung von Hänge- und Sprengwerk mit teilweise aufgehobenem Schub.

3. Dachverbände.

Binderteilung gleich der Achsweite der Pfeiler, etwa 3 bis 6 m. Sparrenfreilängen 3 bis 4,5 m, Sparrenstärken 13.13 und 13.16 cm.

Pfetten 16.21 bis 21.24, selten mehr. Bei großen Binderteilungen deswegen Sicherung der Pfetten durch Sattelhölzer und Kopfbänder, letztere gewöhnlich 13.16 bis 16.21 cm.

Sparrenteilungen.

Pfannendach, einfaches Ziegeldach . . .	1,0 bis 1,1 m
Doppeldach, Kronendach, Falzziegeldach .	0,9 „ 1,0 „
Schieferdach	1,0 „
Metalldach	0,9 „ 1,0 „
Holzzementdach	0,7 „ 0,9 „

Binder. Hauptstreben, Spannriegel durchschnittlich 18.21, Stuhlsäulen und Spannbalken 16.18, letztere oft jedoch durch Deckenbalken gebildet, die an den Stößen durch Eisenlaschen gesichert sind. Bei größeren Ausführungen laufen Flacheisenverspannungen auf ganzer Länge der Spannbalken durch. Werden letztere durch Walzträger gebildet, so sind besondere eiserne Schuhe zur Aufnahme der Strebenfüße erforderlich (Abb. 30).

Die Binder unterscheiden sich voneinander nach der Dachform, ob Sattel-, Pult-, Sägen (Shed)-, Zelt-, Turm-, Kuppeldächer, sowie nach Spannweite und Eindeckungsart, außerdem nach Auflagerung der Dachhaut entweder auf Sparren (**┐**-Traufe) — **Sparrendach** — oder auf Pfetten (**||**-Traufe) — **Pfettendach** —. Pfettendächer seltener — bei Bahnsteig-, Turm- und Kuppeldächern — verwendet. Für die Mittelfelder von Hänge- und Sprengwerksbindern sind Diagonalkreuze oft unerwünscht, deshalb dort Sicherung der Knotenpunkte gegen Verschiebung durch ihre besonders steife Ausbildung mittels Zangen und Kopfbänder. Doppelte Hänge- und Sprengwerke, deren Spannbalken zugleich Balkenlasten tragen, teilt man am besten im Verhältnis 3:4:3, wenn die Spannbalken kontinuierlich sind (Abb. 34 und 50).

Satteldächer.

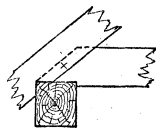
1. Einfache Sparrengebinde (Abb. 44) für geringe Weiten, ohne oder mit Firstpfette, letztere alle 4 bis 5 m durch Pfosten (Säulen) mit Kopfbändern auf Dachbalkenlage abzustützen. Längsverband durch schräg verlegte Latten (Windrispen) bewirkt, die gegen die Unterflächen der Sparren genagelt werden.

2. Einfache Sparrengebinde für mittlere Weiten mit je einem Kehlbalken, der mit dem Sparren durch schwalbenschwanzförmiges Hakenblatt verbunden wird. Wegfall der Firstpfette.

3. Sparrengebinde für größere Weiten mit je 2 Kehlbalken (der obere Hahnenbalken genannt) oder Bindergespärre (Lehrgebinde) in den Pfeilerachsen. Hierbei entweder Unterstützung jedes Sparrengebindes durch Kehlbalken, der auf zwei Rähmen liegt (Kehlbalkendach), Abb. 45 — besser Ausführung nach Abb. 45a —, oder unmittelbar durch die Rähme und Versteifung der Binder und ihrer Sparren durch einfache oder Doppelzangen, (Zangendach), Abb. 46.

In beiden Fällen werden die Rähme durch senkrecht oder schräg gestellte Stuhlpfosten (stehender oder liegender Stuhl) auf die Spannbalken mit Zapfen aufgestellt. Liegt Fußpunkt

Abb 45a.



mehr als 1,5 m von nächster Tragwand, so ist Lastverteilung durch Einfügung besonderer kräftiger Schwelle, die über drei Balken reicht, erforderlich (Abb. 47 u. 53).

Hahnenbalken gleich stark wie Sparren. Länge der Kehlbalken 4,5 m, bei alten Kirchendächern und ähnlichen auch doppelter Stuhl mit 7 bis 7,25, bei dreifachem 10 bis 10,5 m langen Kehlbalken, die besondere Abstützungen erfordern, kräftiger (12.16 bis 18.27) als Sparren.

Unterer Kehlbalken meist 1,9 m über Fußboden. Pfetten und Pfosten von gleichen Abmessungen. Kehlbalkendach bedingt reichlichen Holzverbrauch, ermöglicht aber leicht Ausbau des Dachgeschosses.

4. Schon bei gewöhnlichen und noch mehr bei größeren Dachweiten stellt man die Binder besser als Hänge- bzw. Sprengwerke her (Abb. 47). Stehender Stuhl.

Der bis zur Zange der Mittelpfetten herabreichende und dort nur geführte Pfosten der Firstpfette wird durch zwei nach den Wandauflagern gehende Hauptstreben gestützt, während die beiden Mittelpfetten vorwiegend durch ihre lotrecht gestellten Pfosten getragen werden.

Abb. 48. Liegender Stuhl mit Drempe (zur Vergrößerung des Bodenraumes). Der lotrecht gestellte und unten in die Doppelzange geführte Pfosten der Firstpfette wird durch zwei besondere Streben gegen die liegenden Pfosten der Mittelpfetten abgesprengt. Letztere belasten den Spannbalken nahe Wandaufleger.

Abb. 49. Liegender Stuhl. Die Lasten der Firstpfette und Mittelpfetten werden mittels zwei durch Doppelzangen in Höhe der Mittelpfetten verbundener Hauptstreben in die Wandaufleger übertragen.

Abb. 50. Doppeltes Hängewerk für Dach und Deckenlast mit Drempe. Der Spannbalken wird durch Mittelwände nicht unterstützt und dient der Dachbalkenlage als Unterzug (auf 4 Stützen).

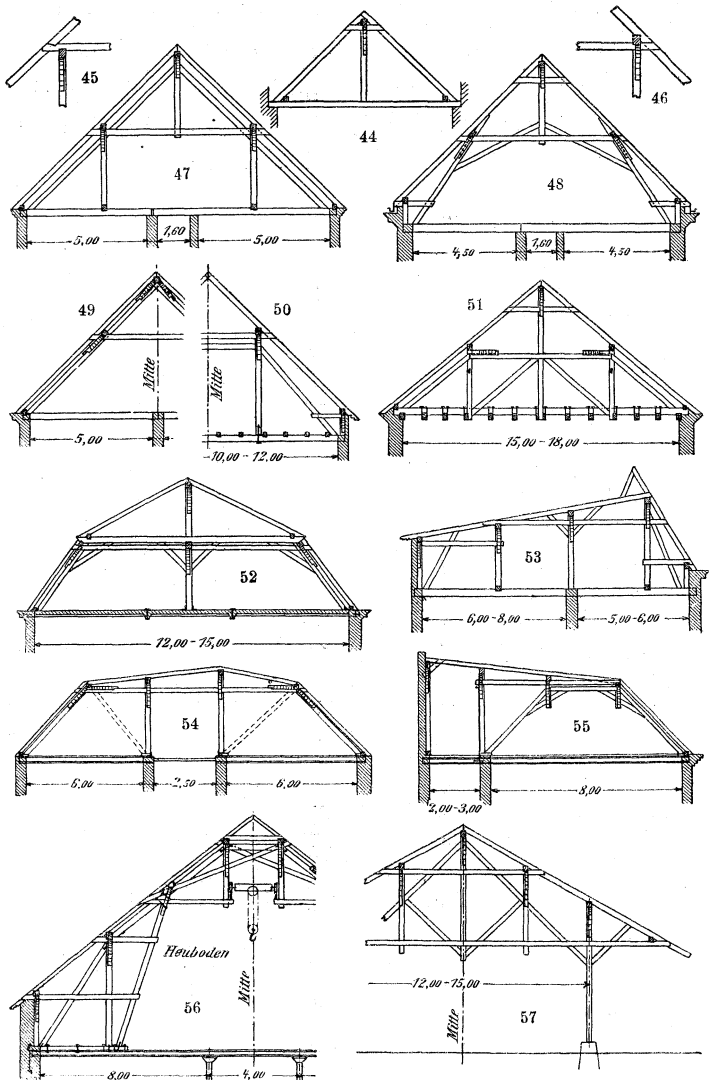
Abb. 34. Doppeltes Hängewerk mit Drempe, von einer Außen- und der Mittelwand unterstützt. Hängesäulen bis zur First bzw. Mittelpfette verlängert. Die hier in größerem Maßstabe dargestellten Verbindungen (Abb. 34a) wiederholen sich ähnlich bei allen übrigen Binderarten.

Abb. 51. Dreifaches Hängewerk für Dach- und Deckenlast. Die drei Hängesäulen sind Doppelsäulen, Deckenbalken an dem Spannbalken (Ueberzug) angehängt, Versteifung der Mittelfelder des Binders durch Streben.

Abb. 56. Dachraum eines Stallgebäudes als Heuboden ausgebaut. Verbindung von Hänge- und Sprengwerk im oberen Dachteil. Fehlen der Spannbalken im Mittelteil, durch gekreuzte Hölzer (Verschwerungen) ersetzt. Die oberen Mittelpfetten stützt ein liegender, die unteren ein stehender Stuhl. Als Spannbalken dient eiserner Träger des massiv ausgebauten Dachbodens.

Abb. 57. Freistehender Schuppen mit zweiseitig überkragendem Dach. Verbindung von Sprengwerksbindern, deren Hauptstreben möglichst tief an die Hauptpfosten herabreichen. Für Kirchen- und Hallenbauten, bei welchen in den unteren Teil des Dachraumes Deckengewölbe oder gewölbartige Decken einschneiden, besser Holzeisen (Abb. 35 bis 37) und Eisenbinder, vrgl. III. Eisenkonstruktionen.

Abb. 44 bis 57.



Walmdächer

(abgewalmte Satteldächer). Binderkonstruktionen im allgemeinen wie vor. Neigung der Walm- und Hauptflächen gewöhnlich gleich. Anordnung von Gratbindern gibt an der First schwierige Anschlüsse. Darum statt dessen Anordnung eines trapezförmigen Binders (\perp -First) oder bei kurzen Walmen zur First gleichlaufende Stichtträger in Dreiecksform vorzuziehen, die ein Auflager auf der Giebel-

Abb. 55 a.

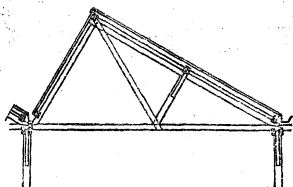
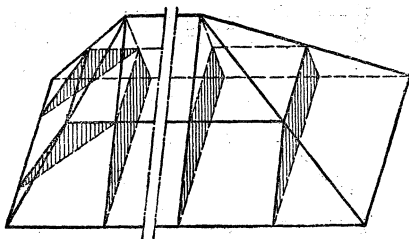


Abb. 57 a.



wand, das andere auf letztem Satteldachbinder finden. Pfetten liegen in den Haupt- und Walmflächen auf gleicher Höhe, an den Ecken überblattet, Abb. 57 a.

Mansarddächer

Abb. 52. Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl. Die Kehlbalken dienen zum Tragen der leichten Zwischendecke. Anordnung besonderer durchlaufender Zangen unter den Mittelpfetten immer empfehlenswert.

Abb. 54. Zangendach. Obere Dachflächen unsymmetrisch. Durch Hinzufügen der beiden inneren Gegenstreben wird die Standsicherheit des Daches sehr erhöht.

Abb. 58. Fünfteiliges Hängewerk (alte Ausführung) für große Spannweiten und Belastungen, gebildet aus Dach, Dachboden und Decken. Spannbalken als Unterzug für die Deckenbalken und Hauptstreben als verdübelte Hölzer ausgebildet. Mittelfelder des Binders durch Streben versteift.

Pulldächer.

Beim Entwurf der Binder ist der aus einseitiger Dachform kommende Seitenschub zu berücksichtigen. Dachflächen gerade oder in Form halber Mansarddächer.

Abb. 53. Dach über einem Berliner Vorderhaus, stehende Stuhlsäulen.

Abb. 55. Mansard-Pulldach mit liegenden und stehenden Stühlen.

Sägen- (Shed-) Dach.

Abb. 55a. Neigung der Glasdachfläche bei 60° , beide Dachflächen sind am Firstpunkt rechtwinklig zueinander. Glasdachfläche nach Norden gerichtet.

Zelt-, Kuppel-, Turmdächer.

Das Tragwerk wird entweder durch zwei Paare sich rechtwinklig schneidender Hänge- bzw. Sprengwerke oder als räumliches Fachwerk (Zeltdach) oder aus einer Verbindung beider Arten gebildet.

Abb. 58.

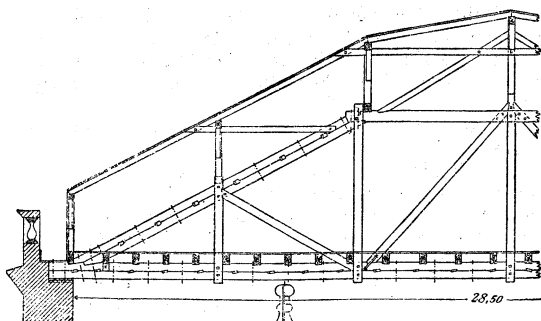


Abb. 59.

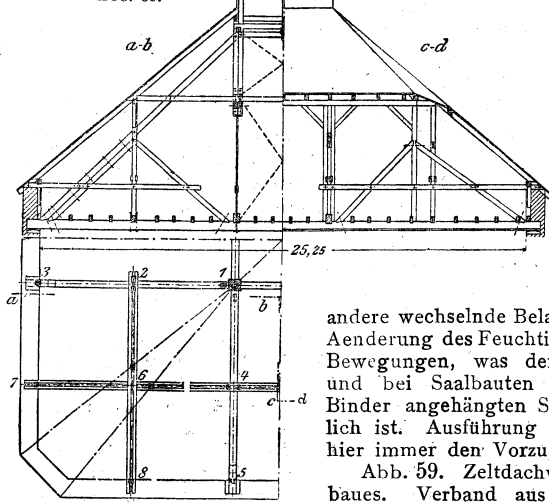


Abb. 60.

Sichere Aufnahme der bei Zeltdächern auftretenden Schubkräfte erforderlich. Verankerung hoher Turmdächer im Mauerwerk jetzt nötig, früher wegen schwerer Bauart oft entbehrlich.

Berechnung der Verankerungen der Turmhelme für den Bauabschnitt auszuführen, in dem die Verbände aufgestellt und die Verschalung, aber noch nicht die Deckung angebracht ist, und in dem die Turmspitze die Rüstung für die Befestigung der Bekrönung trägt.

Die hier behandelten Dachverbände erleiden durch Wind und

andere wechselnde Belastung, auch durch Aenderung des Feuchtigkeitsgrades starke Bewegungen, was den Dachdeckungen und bei Saalbauten auch den an die Binder angehängten Stuckdecken schädlich ist. Ausführung in Eisen verdient hier immer den Vorzug.

Abb. 59. Zeltdachverband eines Saalbaues. Verband aus sich kreuzenden Sprengwerken gebildet, wobei die der einen Richtung gegen die der anderen

in ihrer Höhenlage um Spannriegel- bzw. Spannbalkenhöhe versetzt sind.

Im Viertelgrundriss Abb. 60 ist 1, 3 der untere, 1, 5 der obere Hauptbinder, 4, 7 der untere, 2, 8 der obere Zwischenbinder. Die vier Hauptbinder mit vier gemeinsamen, oben aus vier Hölzern, unten aus eisernen Zugstangen gebildeten Hängesäulen 1 bilden Sprengwerke, die vom Boden bis zur Laterne reichen. Last der Mittelfetten bei 2 und 4 durch die in die Hauptbinder eingefügten Sprengböcke nach 1, 3 und 5 und durch die mit beiden Stuhlsäulen bei 6 verbundenen Zwischenbinder nach 2, 4 der Hauptbinder und 3, 8 der Frontwände übertragen. Anordnung von eisernen Diagonalkreuzen in den vier Mittelfeldern der Hauptbinder notwendig. Dachboden oberhalb, Saaldecke unterhalb Spannbalken.

Abb. 61 u. 62. Achtseitig gleichseitiges Kuppeldach mit Laternenaufbau über 13 m lichter Breite.

Zwei Paare sich rechtwinklig durchdringender Holzfachwerke 2, 4 und 3, 5 mit Spannbalken bei *a* und Spannriegeln bei *c*. Pfetten *b* (Traufe) und *c* finden Auflager in den Gratebenen durch geneigte Stuhlsäulen *a c*, ebenso Pfetten *d*, *e* durch lotrechte Säulen *d f*, *e g*. Die Punkte *f*, *g* sind Binderknotenpunkte. Die acht Laternenstiele stehen bei *c* auf Wechsellinien 2, 3. Ausbildung dieser Teile unter Hinzufügung von Spannriegeln bei *d* und Streben in Zone *c d* zu vier Sprengwerken von Weite 2 bis 3. Wagerecht verlegte Doppelzangen bei *b*, *c*, *d* bringen die Stiele jeder Gratebene in gegenseitigen Verband.

Abb. 63 u. 64. Turmhelm nebst Glockenstube von quadratischem Grundriss, Höhe 35, lichte Schachtbreite 10 m.

Die Umfassungswände der von Einbauten freien Glockenstube werden in Höhe *a c* durch je zwei Sprengböcke gebildet, deren Streben bei *b* in den Turmwänden verriegelt sind.

Die acht Köpfe der Böcke 2, 3 bei *c* geben wieder zwei Paaren sich rechtwinklig durchdringender Sprengwerke Auflager, die in Zone *c d* angeordnet sind. Stützpunkte 5, 6 der Gratsparren und Ringpfetten bei *d* durch Auskragung der Spannriegel, bei Ring *e* durch Höherführung der Stuhlsäulen gebildet, die in Zone *d e* vier Diagonalkreuze aufweisen. Von Ring *e* bis Spitze *g* wirkt das Hauptdach als einfaches Zeltdach, ebenso die bei Ring *f* aufgesetzte Spitze. Der Kaiserstiel der letzteren reicht bis Ring *e*.

Abb. 65 u. 66. Achtseitiges Kuppeldach mit Dachreiter für Glockenturm von quadratischem Grundriss und 7,5 m lichter Breite. Höhe des Kuppeldaches 40 m.

Turmwände bekrönt durch vier Giebel von Dreiecksform von Höhe *a c*, Auflager des Dachverbandes, quadratische Pyramide (Zeltdach), und der Decke der Glockenstube in Höhe *b*. Hauptsparren des Zeltdaches, die nicht nach den Turmecken geführt werden können, gehen nach den Mitten der Giebel, oberer Teil (Zone *e g*) einfach, unterer Teil (Zone *d b*) gegabelt, wodurch bessere Seitensteifigkeit des Aufbaues und Belastung des Schallöffnungsbogens erzielt wird. In Zone *b f* fachwerkartige Aufsattelung der Zeltbindersparren und Einschaltung ähnlicher, sich gegen die Ringe legender Zwischensparren in den Diagonalebenen des Grundrisses. Abb. 66. Grundriss, links Balkenlage der Decke, die im Schnittpunkt der Diagonalen am Kaiserstiel befestigt ist, rechts Grundriss in Höhe *d*.

Abb. 61 bis 68.

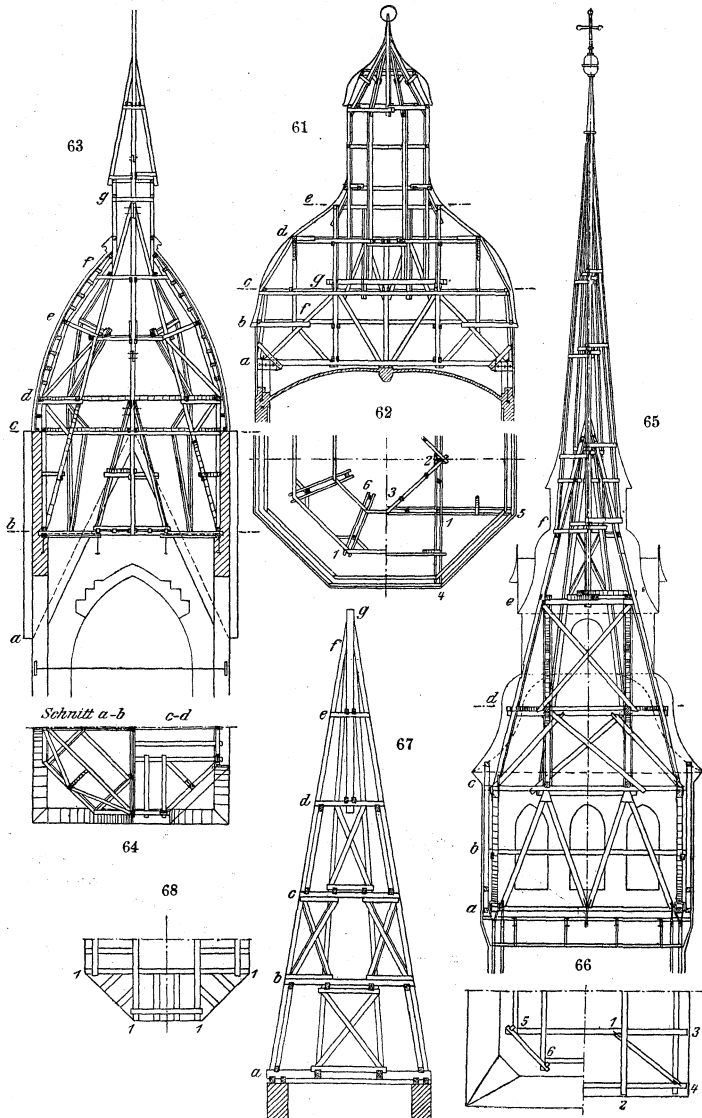
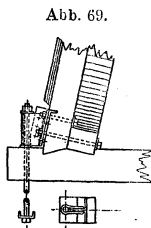


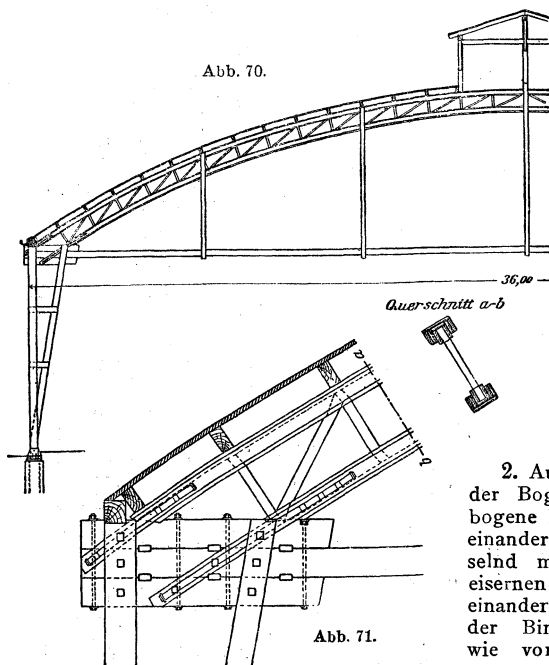
Abb. 67 u. 68. Mollerscher Turmverband. Allgemein bekannte und bewährte Ausführung, obgleich in statischer Beziehung unklar. Sparrendach, bestehend aus Zwischen- und Gratsparren, an deren Füßen Schwellenrost *a*, wagh-rechten Pfettenkränzen bei *b* und *c* mit zwei sich kreuzenden Schwellenpaaren 1, 1, bei *d* ohne diese, Zangenversteifungen bei *e*, Anfall *f* der Gratsparren an den Kaiserstiel, der zudem in *e* und *d* gehalten wird. Unterhalb *d* in jedem zweiten Felde einer Zone Andreaskreuze, die gegen die der nächsten Zone versetzt sind. Kreuze ohne (Zone *da*) oder mit besonderen Holmen (*cb*, *ba*), aber immer mit Schwelle. Bei Verankerung der Fußpunkte Schwellenrost und vor allem auch Gratsparren erfassen (Abb. 69), deren Stöße sicher zugfest auszubilden sind.



Hallenbinder.

Bohlen- und Fachwerkbogen.

1. Bohlenbogen, zusammengesetzt aus mehreren hochkantig nebeneinander gestellten, am oberen Rand nach der Dachlinie geschnittenen, 1,5 m oder längeren Bohlenstücken, die mit versetzten Stößen angeordnet sind. Verbindung durch Holznägel.



Ueberspannung mäßig weiter Räume in Halb- oder Spitzbogenform ohne weitere Hilfskonstruktion möglich. Binderschub verhältnismäßig gering.

2. Auf Schablone nach der Bogenkrümmung gebogene Bohlen flach übereinander gelegt, abwechselnd mittels Bolzen und eisernen Bändern untereinander verbunden. Schub der Binderbogen größer wie vor, weshalb meist

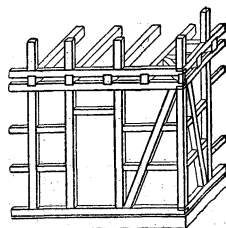
Zugbänder, Zangen oder seltener Sprengewerkunterfangungen erforderlich werden.

3. Fachwerkbogen. Finden jetzt für Schuppen, Ausstellungshallen usw. wieder vielfach Verwendung. Mäßiger Kostenaufwand, gefälliges Aussehen. Abb. 70, Bretter, wie unter 1. und 2. vorbereitet, werden zusammengesetzt zu Gurtungen ähnlich den aus Gurtlaschen und Winkeln zusammengesetzten Stäben der Eisenkonstruktionen, wobei Spielraum zur Einfügung und Befestigung der Wandgliederenden verbleibt. Aufstellung oft aus einzelnen fertigen Bogenstücken, die auf dem Bau mittels Gelenkklotzen oder Bretterüberblattungen verbunden werden. Statische Behandlung je nach Ausführung als elastische Bogen mit (Abb. 71) oder ohne Zugband oder als Fachwerk- oder Dreigelenkbinder gut durchführbar. Sichere Ausführung der Verbindungen schwieriger.

d. Fachwerkwände.

Abb. 72. Grundschwelle auf gemauertem Sockel verlegt, die, um Faulen der ersteren zu vermeiden, aufsen bündig liegen. Anordnung der Stiele nach Lage der Wandöffnungen. Verstrebrungen in den Endfeldern der Wände von der Fußschwelle nach dem Kopf der Eckstiele hin. Teilung der Zwischenriegel in den vollen Feldern unter Berücksichtigung der Schichthöhen ihrer Ausmauerung. Tür- und Fensterriegel, in besonderer Höhenlage, beleben die äußere Erscheinung. Im obersten Geschoss tragen Rähme die eingekämmten Balken und diese die Sparren-(Saum-)schwelle des Dachgeschosses. An der Giebelseite wird gleichmäßigen Aussehens wegen meist ein Stichgebälk angeordnet.

Abb. 72.



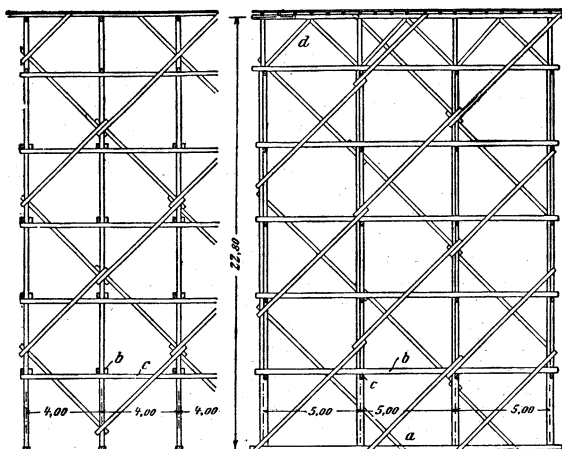
e. Verbundene Rüstungen.

Abb. 73. Freistehende Rüstung im Inneren eines Gebäudes zur Aufstellung einer umfangreichen Dachkonstruktion.

Die sechsgeschossige Rüstung, in zwei Schnitten dargestellt, bildet im Grundriss ein rechteckiges Maschennetz. Die Grundswellen *a* liegen parallel zur Transportrichtung der Montageteile vom Lagerplatz zu den Kranen, die auf der Rüstung Platz finden. Die in den fünf unteren Geschossen aus zwei, im obersten Geschoss aus einem Holz gebildeten Pfosten stehen in den Netzpunkten auf den Schwellen. Die Balken der einzelnen Geschosse *b*, welche in Richtung der Grundswellen laufen, bestehen in den vier unteren Geschossen aus versetzten Zangen, in den beiden oberen aus Hölzern, wobei das oberste den Unterzug für die Lagerhölzer der Arbeitsbühne bildet und deshalb im obersten Geschoss Zwischenunterstützung durch Bockstreben *d* aufweist. Die einteiligen, zu den Grundswellen senkrechten Rähme *c* durchdringen die Pfosten, wobei stets ein Holz der letzteren unterbrochen wird. Die Verschwertungen in den Stielreihen laufen bei wenig umfangreichen Rüstungen über alle Felder, bei anderen genügt

es, die Verschwertungen in einem umlaufenden Kranz von mindestens zwei Feldern Breite anzuordnen. Arbeitsbühne der Rüstung aus Bohlen und Lagerhölzern, letztere in Richtung der kürzeren Netzseite,

Abb. 73.



mit Aussparungen einzelner Felder zum Durchziehen der Montageteile. Berechnung für gleichförmig verteilte Last (Lagerstücke, Hebezeuge bis 600 kg/qm) und Einzellasten, die gleich dem Gewicht des schwersten Montagestückes sind, dazu unter Umständen Wind.

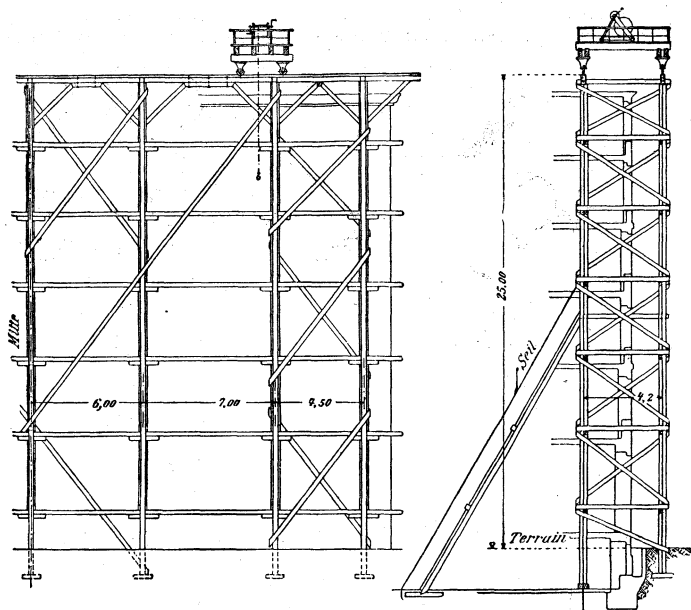
Abb. 74. Frontwandrüstung zum Versetzen von Werksteinen. Ansicht und Querschnitt. Zwei Stützenreihen, außen und innen rd. 1,5 m von der Frontwand entfernt. Teilung in der Längsrichtung so, daß die Pfosten vor den Wandöffnungen stehen. Pfosten aus zwei Hölzern, eins für die Auflagerung der einfachen Rähme unterbrochen, Querriegel aus Doppelzangen. Rähme derart gegen die Fußböden des Gebäudes versetzt, daß erstere und die Versteifungskreuze durch Wandöffnungen — und allenfalls durch Fensterbrüstungen gehen. Holme, welche die Schienen der fahrbaren Bühnen tragen, lasten auf den Pfosten gleichmäßig. Statische Berechnung für Belastung durch ein oder mehrere Winden (Eigenlast je 1000 bis 1500 kg), dazu Gewicht der schwersten Werksteine und Wind. Solange die Rüstung allein steht, wird gewöhnlich ihre Sicherung durch besondere Holzverstreibungen und Drahtseilverankerungen erforderlich, später Versteifung gegen ausgeführte Gebäudeteile.

f. Lehrbogen und Lehrgerüste.

Lehren für flache Bogen von geringer Weite aus zwei hochkantig gestellten, oben nach der Krümmung geschnittenen Brettern oder Bohlen

und daraufgelegten Schalhölzern gebildet. Bei größeren Krümmungen mehrere ausgeschnittene Bretter zum Lehrbogen verlascht.

Abb. 47.

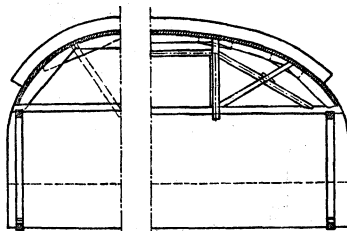


Bei mittleren Weiten Herstellung der Bogen aus doppelter Bretterlage, Stöße versetzt, Schub durch Zangen aufgehoben, oft mit Hilfsstreben nach der Zangenmitte hin gesichert (Abb. 75).

Bei großer Weite Anordnung besonderer auf Pfosten und Schwellen gestellter Tragwerke, gegen welche sich die Lehrbogen stützen (Abb. 76), doppeltes Hängewerk. Um allmähliches Lüften des Mauerwerks zu ermöglichen, werden zwischen Pfosten und Schwellen Holzkeile, Sandsäcke oder Topfschrauben eingebracht.

Abb. 75.

Abb. 76.



g. Holzeisenkonstruktionen.

Vergleiche bewehrte Balken, S. 344, Abb. 35 bis 37. In der Regel Holz für Druck-, Walzeisen für Zugstäbe verwendet. Besseren Aus-

sehens wegen gedrückte Wandglieder auch aus Guß- oder Walzeisen.

Abb. 77. Einfacher Polonceaubinder. Pfetten und Obergurt aus Holz, Streben und Auflagerschuhe aus Gußeisen, Untergurte (Zugstangen) und die Teile ihrer mittleren Knotenpunkte aus Walzeisen.

Abb. 77.

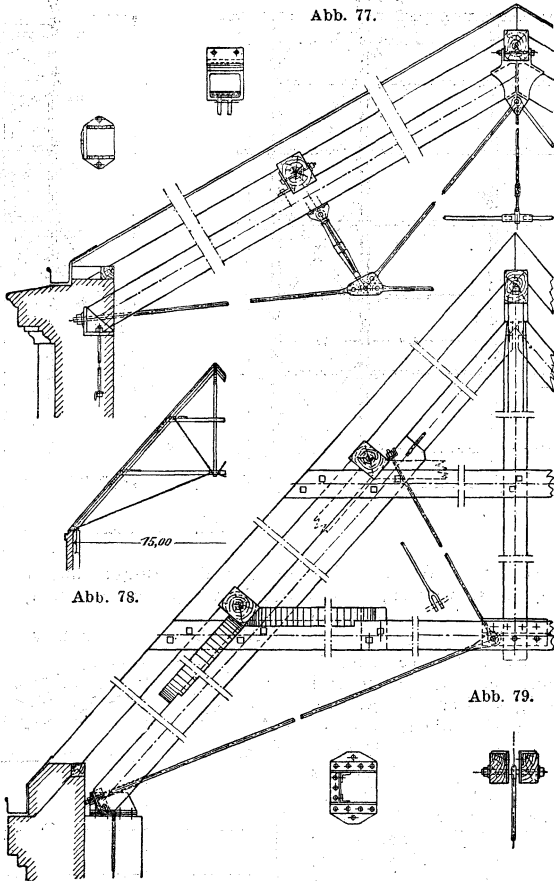


Abb. 78.

Abb. 79.

Spannschlösser im mittleren Teil des Untergurtes und in der in seiner Mitte angeordneten Hängestange.

Abb. 78 u. 79. Hohes Dach für Kirchen- und Saalbauten. Führung des Untergurtes durch die in den unteren Dachraum eintretende Gewölbe-

decke bedingt. Pfetten, Obergurte und gedrückte Wandglieder aus Holz, Untergurt und Diagonalen aus Rundeisen. Pfetten bei größerer Binderteilung in zwei Ebenen, der wagerechten einerseits und der zugehörigen Dachneigung anderseits, gegen Doppelzange und

Binderrücken verstrebt. Firstpfette nur Kopfbänder in lotrechter Ebene, da erstere durch die Sparren der Windabseite versteift sind. Auflagerschuh aus Schmiedeeisen, Spannstrangen mit Auge bzw. Gewindeteil bei den Endigungen.

Mittelknotenpunkt des Untergurtes aus Winkelstaschen, die in dem Spielraum zwischen den Doppelzangen liegen.

Abb. 80 bis 82.

Hallenbau in amerikanischer Bauweise. Gurturen, Wandglieder und Wandpfosten von drei nebeneinander liegenden Stäben aus Holz gebildet, die mit geringem Abstand verlegt sind. Firstschuh der Hauptsparren und Abstützung der Wandglieder an den Gurturen durch gußeiserne Formstücke, Verbindung des in Holz untersattelten Binderauflagers mit Wandpfosten durch Blechlaschen.

Hölzerne Wandglieder, die nacheinander Zug- und Druckspannungen erfahren können, durch nachziehbare Rundeisenstrangen bewehrt. Stöße des Untergurtes durch gezahnte Blechlaschen.

Abb. 80.

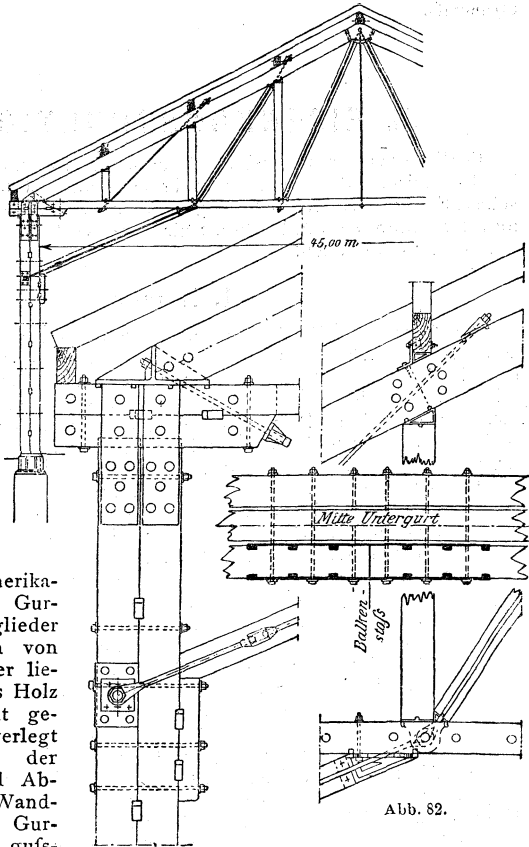


Abb. 82.

Abb. 81.

h. Eigengewichte der Dachverbände.

Je nach ihrer Art verschieden. Ueberschlägig anzunehmen für Sparrenlagen 10 bis 15 kg/qm Dachfläche, Rähme nebst Kopfbändern, Windrispen usw. 10 bis 20 kg und für die Binder 15 bis 30 kg/qm Grundriß.

III. EISENKONSTRUKTIONEN.

Uebliche Walzprofile und ihre Abmessungen vrgl. I. Bd., Abschn. Stoffkunde, statische Berechnung von Trägern und Säulen vrgl. I. Bd., Abschnitt Festigkeitslehre, Belastungsannahmen, zulässige Beanspruchungen und Berechnungen von Baukonstruktionen vrgl. III. Bd., Abschn. Statik der Baukonstruktionen.

1. Zulage.

Ein über dem Fußboden 80 cm hoch gelegener Schienen- oder Trägerrost, welcher zum werkseitigen Zusammenbauen und Vernieten aller in der Werkstatt bearbeiteten und zuzulegenden Eisenteile dient. Die Zulage schließt sich an die Bearbeitungswerkstatt an, von letzterer aus durch geeignete Transportanlagen bestreichbar. Erbauung gewöhnlich aus alten Eisenbahnschienen, Teilung der Stränge bis 3 m, Abstand der am Fuß einbetonierten Stützen 2 m.

Arbeiten auf der Zulage insbesondere:

- Reinigen der Eisenteile, auch von Bohrspänen und Bohrwasser, Streichen der Deckflächen der Bleche und Stäbe, Zusammenbauen der Einzelteile durch Heftschrauben zu Verbundkörpern, Nacharbeiten der Lochwandungen durch Dornen — was auch vorwiegend das Reinigen der Lochwandungen bezweckt —, Aufreiben und Bohren,
- Bohren der Nietversenke, wo erforderlich, nachträgliches Abkreuzen, Abschleifen und Fräsen von Stabendigungen, Nietarbeit, Abgraten der Nietbarte, Aufbringen des Schutzanstriches und Verladen.

a. Leichte Konstruktionen.

Vom Nachbohren und Nachreiben der Lochwände wird bei mäßigen Nietstärken abgesehen, geringe Unebenheiten werden nur durch das Dornen ausgeglichen. Zulässigkeit dieses nicht guten, für Hochbauten aber sehr üblichen Verfahrens hängt von der Genauigkeit des Anreißens, Körnens und der Bohr- bzw. Locharbeit ab.

b. Schwere Konstruktionen.

Nach dem Heften der im einzelnen gebohrten Löcher folgt Aufreiben der Lochwandungen mit Reibahle durch Hand oder durch tragbare Preßluftbohrmaschine (2 mm Erweiterung des Loches). Bei Herstellung von Versenken und Abgraten der Bohrlöcher wird an

Bohrmaschine Reibahle gegen Flachbohrer ausgewechselt. Bedienung der Bohrmaschine durch zwei Mann.

Besser das jetzt nach dem Heften sehr übliche Durchbohren der Nietlöcher aus dem Vollen mittels Vollkreisbohrmaschinen, fahrbaren Bohrbrücken und Pendelbohrmaschinen, letztere an besonderem Kran hängend und leicht in Schräglage zu bringen.

c. Nietarbeit.

Erwärmung der Niete im Schmiedefeuer, letztere selten mit Fußbetrieb eingerichtet, besser mit Gebläsewind beschickt, für welchen auf der Zulage weit verzweigte, mit zahlreichen Anschlüssen versehene Rohrleitungen erforderlich sind.

Handnietung nur noch für kleineren Betrieb und ausnahmsweise da, wo mit maschineller Nietung nicht anzukommen ist, und beim Versenkieten. **Nietung durch Lufthammer** (40 Nietköpfe die Stunde). Zum Vorhalten dienen Preßluftgegenhalter, auch Nietwinden und Nietkeulen, letztere aus schwerer Rundeisenstange gebildet, mit dem Setzkopfe entsprechender Höhlung an einer Stirnfläche (1 bis 2 Mann).

Nietung durch Nietpressen (100 Nietköpfe die Stunde) seltener. Früher mit Druckwasser, jetzt mit Preßluft, auch elektrischer Energie und Dampf beschickt. Geeignet für Reihennietung (Blech-, Kasten-träger und Gurte). Die Nietpressen hängen an Laufkranen, die günstigstenfalls die Zulage in gesamter Länge und Breite bestreichen; andernfalls wird das Nietgut auf kleinen Rollenwagen den Pressen zugeschoben. Nietöfen mit drehbaren Glühköpfen für Koks- oder Oel-feuerung erforderlich.

2. Schrauben- und Nietverbindungen

insbesondere auch für Hochbaukonstruktionen, auch Keile, vrgl. I. Bd., Abschn. Maschinenelemente u. Abschn. Brückenbau.

Durchmesser der gebräuchliche Niete 13, 16, 20, 23 und 26 mm, wobei ersterer selten mehr als doppelte Blechstärke beträgt. Schaftlänge der Niete nicht über $4\frac{1}{2}$ fachen Durchmesser.

Verwendung verschiedener Niete bei einem Bauwerk möglichst einzuschränken. Berechnung der Niete und gedrehten Schrauben nur für die zu übertragende Kraft nach Scherspannung (1000 kg/qcm) und Leibungsdruck (2000 kg/qcm projizierter Fläche). Bei einfachen Stäben sind nicht mehr als 4 Niete in eine Reihe zu setzen, sonst versetzte Nietreihen mit Verjüngung nach den Enden hin, wobei der gezogene Stab nur durch ein Nietloch geschwächt wird. Bei versenkten Nieten ist mit 20 vH Mehrabzug zu rechnen. Druckglieder erfahren nur bei Verschraubungen Abzug am Querschnitt. Nach Möglichkeit ist bei Winkelleisen auch der zweite Schenkel, bei C-Eisen ein jeder der beiden Flanschen durch Hülfswinkel anzuschließen.

Bei Winkelleisen mit Kröpfungen sind nur die vor letzterer liegenden Niete zu rechnen. Statt Kröpfungen, die für Rostbildungen Spielraum bieten, besser Unterfütterungen zu verwenden, die bei Uebertragung größerer Kräfte für sich anzuschließen sind; andernfalls Beanspruchung der Niete auf Biegung.

Der Raum zwischen parallelen, nur durch die Knotenblechstärke voneinander entfernt verlaufenden Profilen ist möglichst durch Flacheisen von etwas Mehrbreite auszufüllen, wenn Erneuerung des Anstriches schwierig.

Stöße haben Ersatz der fehlenden Querschnittsflächen unter möglichster Wahrung der Schwerpunktlage zu bringen. Bei Trägern Bestimmung des Stosfes nach Moment und Querkraft, nicht nach dem vielleicht aus anderem Grunde vorhandenen reichlichen Querschnitt. Darum Stofs möglichst da anzuordnen, wo die Momente klein sind.

3. Trägerlagen.*)

Kontinuierlich lastende Träger werden gewöhnlich nicht angewandt.

a. Wandaufleger.

Unmittelbar, wenn mit 30 cm Auflagerlänge (nicht unter 20 cm) auszukommen ist, oder mittelbar durch Auflagerplatten, die in Zementmörtel zu verlegen sind. Auch die unter den Auflagerplatten zunächstliegenden sechs Schichten Mauerwerk sind in Zementmörtel zu mauern.

Im Handel vorrätige gusseiserne Auflagerplatten von 2,6 cm Stärke haben die nachfolgenden Abmessungen und Gewichte.

Länge	Gewicht (kg) bei der Breite								
	130	200	260	300	390	520	650	780	900
130	3,4								
200	5,2	8,0							
260	6,7	10,4	13,5						
300	7,8	12,0	15,5	17,9					
390	10,1	15,5	20,2	23,3	30,3				
520	13,5	20,7	26,9	31,3	40,4	53,9			
650	16,8	25,9	33,7	38,9	50,5	67,4	84,2		
780	20,2	31,1	40,4	46,6	60,6	80,8	101,0	121,2	
900	23,3	35,9	46,6	53,8	70,0	93,9	116,6	139,9	161,4

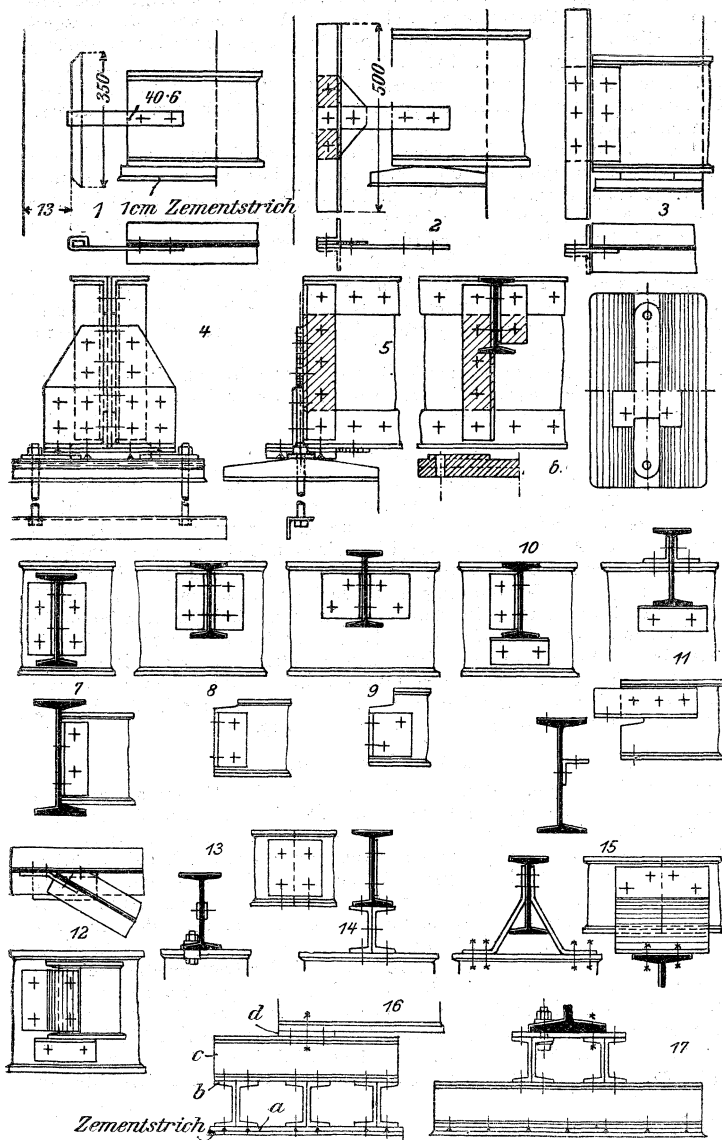
Uebliche Verwendung dieser Platten nur für geringere Lasten (Abb. 1) und für grössere dann, wenn mehrere Träger den Auflagerdruck gleichmäfsig über die Platte verteilen und wenn die Durchbiegung der Träger in mäfsigen Grenzen $\left(\frac{1}{500} \text{ bis } \frac{1}{600} \cdot l\right)$ bleibt.

Durch Verwendung zweier übereinanderliegender Platten verschiedener Gröfse (Abb. 3) wird bessere Druckverteilung möglich. Sonst besonders geformte Platten von konvexer Oberfläche (Abb. 2), bei welchen gleichmäfsige Druckverteilung sicher eintritt.

Abb. 4, 5 u. 6 zeigen für Blech- und Kastenträger besonders geeignetes Auflager. Oberfläche der Platte nach allen vier Seiten hin verjüngt, Verankerung durch 2 Ankerbolzen, 0,60 bis 1 m und mehr tief. Sicherung der Trägerlage durch 2 Gufisleisten, welche, auf der Querachse der Platte angeordnet, in entsprechende Aussparungen des Trägerfufses eingreifen. Hiervon abweichende Sicherungen normal ausgebildeter Trägerrendigungen auch nach Abb. 140 und 141 aus-

*) Vrgl. auch Abschn. Brückenbau.

Abb. 1 bis 17.



föhrbar, Auflager für Dachbinder. Abb. 140 u. 140a zeigen die Anordnung von 4 Gußrändern, welche das Auflagerblech des Trägerfußes allseitig umfassen; Bearbeitung der Kopffläche der Gußplatte hierbei schwierig. Abb. 141 zeigt zwei nur bis zum Trägerfuß reichende seitliche Leisten, welche auf den Trägerfuß übergreifende Klemmplatten tragen. Letztere sitzen auf den Ankerbolzen und werden dort angezogen.

Bei besonders großer Last wird Verminderung der Plattenabmessungen möglich durch Verwendung besonders fester Mauerunterlage (Sandstein, Granit, Eisenklinker). Verminderung der Plattenstärke auch bei besonders geeignetem Guß möglich (Zusatz von Flußeisenspan), ferner bei Verwendung von Gußstahl.

Auch empfiehlt sich (schnelle Beschaffung) die Verwendung von Trägerrostplatten aus Walzeisen (Abb. 16 u. 17). Mit Sohlplatte *a* vernietet die auf ihr liegenden Rostträger *b*, *I*-Träger oder *E*-Eisen. Gleichmäßige Druckverteilung ermöglichen besondere Ueberlagsträger *c* und Zentrierblech *d*.

Untergießen hoch belasteter Auflagerplatten mittels Bleies (3 bis 5 mm stark) nicht zuverlässig, weil erfahrungsgemäß Lufträume verbleiben. Zementunterguß vorzuziehen.

b. Verankerungen.

Sie dienen zur Zusammenfassung gegenüberliegender Wände. In der Regel Verwendung der Deckenträger und Unterzüge als Anker, wobei ihre Verlaschung bei Stößen notwendig wird. Abb. 1. Verlängerung der Ankerträger durch Flacheisen mit Oese und Flacheisensplint, geeignet für Deckenträger und leichtere Unterzüge. Schwerere Verankerungen in Verbindung mit Deckenunterzügen (Abb. 2 u. 3) liegen bei Frontwänden in den Pfeilerachsen, bei Giebelwänden in den Fluchten der Mittelwände. Splinte aus einem oder zwei Winkel-eisen, in der Regel lotrecht, aber auch wagerecht verlegt. Bei wagerechter Lage der Winkeleisensplinte oft unmittelbare Verschraubung am oberen oder unteren Trägerflansch. Abb. 40. Anker in Verbindung mit dem aus zwei Trägern gebildeten Unterzug.

c. Verbindungen.

Als Baulänge von Trägern, welche an beiden Enden an anderen Trägern verlascht sind, dient die um etwa 2 cm verringerte theoretische Länge. Bei in beiden Schenkeln der Winkellaschen versetzten Schrauben (Nieten) genügen noch Winkeleisen 70.70.7, bei Löchern, die in gleichem Schnitt liegen, Winkeleisen 80.80.8 mm. Abb. 7 normaler Anschluß, Schrauben in den Schenkeln versetzt; Abb. 8 Anschluß mit Schrauben in einem Schnitt, oberer Flansch des Kappenträgers ausgeklinkt. Abb. 9 bei geringer Höhe der Winkellaschen besonders breite, mit zwei Lochreihen in jedem Schenkel versehene; oberer Flansch und Stegteil sind ausgeklinkt. Bei Abb. 10 nur eine Winkellasche, dazu ein Auflagerwinkel, der am Unterzug fest vernietet ist, was bei schweren Trägern die Montage erleichtert. Abb. 11 zeigt Ausklinkung des Steges, einen Auflagerwinkel am Steg des Unterzuges, zwei am Kappenträger. Bei Abb. 12 liegen die Achsen der zu

verlaschenden Träger zueinander geneigt; Anschluss durch stumpfwinklige Lasche und einen Auflagerwinkel.

Träger liegen auf den oberen Flanschen anderer Träger auf. Nach Abb. 13 unmittelbar, Heften durch Klemmplatte und Schraubenbolzen, wenn Schwächung des Unterzuges durch Bolzenloch zu vermeiden ist. Mittelbare Auflagerung nach Abb. 14 durch zwei unterfütterte **C**-Eisen (einen **I**-Träger), nach Abb. 15 durch Stuhl aus zwei doppelt gekrümmten Blechlaschen, die gleichzeitig beide Trägerendigungen verbinden. Letzterem Zweck dienen in Abb. 13 zwei Flacheisenschienen, in Abb. 14 eine Blechlasche (auch zwei).

Ungleiche Belastungen werden auf zwei oder mehr nebeneinanderliegende Träger annähernd gleichmäÙig verteilt durch geeignete Verbindung der letzteren an einer oder mehreren Stellen. Hierfür dienen Distanzstücke, Abb. 18 aus GuÙeisen, Abb. 19 aus zwei **C**-Eisen (einem **I**-Träger) und zugehörige Schraubenbolzen. Ist der Hohlraum zwischen den Trägern zugänglich, so ist gesonderte Verschraubung einer jeden Seite vorzuziehen. Bei größeren Beispielen Verwendung von genieteten Distanzstücken, aus Stegblech und Anschlußwinkeln in **H**-Form gebildet. Gleicher Zweck wird erreicht bei Wegfall der Distanzstücke, aber Beibehaltung im ganzen durchgehender Bolzen und Füllen des Hohlraumes zwischen den Trägern durch Stampfbeton oder bei Zugänglichkeit durch Mauerwerk (Zementmörtel) von knirschen Fugen.

Verbindungen anderer Profile untereinander Vorstehendem entsprechend zu gestalten.

d. Stöße.

Vrgl. 2. Schrauben- und Nietverbindungen. Stöße der Querschnitte von Einzelstäben und zusammengesetzten Trägern und Gurten durch Ersatz der Winkelschenkel, Stege, Flanschen usw. mit Hilfe von Universalblechen und Winkellaschen, letztere, wo erforderlich, mit abgeschliffenen Ecken. Stöße von Einzelstäben bieten nichts Besonderes, sie sind folgenden Beispielen nachzubilden.

Ueblicher Stofs von Blechträgern und kastenförmigen Körpern zeigt Deckung des Steges durch ein Blech oder zwei, die nur bis zu den Gurtwinkeln reichen. Stofs der Gurtwinkel in gleichem Schnitt. Enthält ein Gurt mehrere Verstärkungslamellen, so sind ihre Stöße gegen den Stegstofs wechselweise versetzt und durch aufgelegte gemeinsame Lasche gedeckt. Bei geringen Trägerhöhen wird hierbei Stegstofs unsparsam, auch verursachen die versetzten Lamellenstöße bei Montagestößen durch das notwendige seitliche Ineinanderfädeln der Trägerendigungen Mühe. Abb. 20. Die vorgenannten Schwierigkeiten sind vermieden. Blechträger mit zwei Lamellen für jeden Gurt. Steg und innere Lamellen einfachen Stofs in gleichem Schnitt, wobei für ihre Laschen Gurtwinkel und äußere Lamellen ausgespart sind. Letztere erfordern demgemäÙ Laschen von größerer Länge. Abb. 21. Stofs des Kastengurtes des vollwandigen Zweigelenkbogens. Abb. 149. Vier Gurtlaschen für jeden Gurt, Innenraum zugänglich. Stofs des Steges, der Gurtwinkel und innersten Lamellen in gleichem Schnitt. Stegstofs durch zwei Laschen, außen zwischen den Gurtwinkeln, innen in ganzer Steghöhe. Stofs der Gurtwinkel mit Hilfe von Winkellaschen, deren

Eckkanten abgerundet sind. Für die Stofflasche der innersten Lamellen wieder Aussparung der zweiten Lamellen usw.

e. Gelenklager.

Umgehung von Gelenken und Ausführung einfacher Stegverlaschungen oder Auflagerung des Koppel- auf dem Schleppträger hat sich für Balkenlagen in Gebäuden bewährt. Gegenwärtig in Berlin geltende behördliche Vorschrift, welche für die schwebenden Stöße in jedem Falle Gelenkbolzen und Fugen in den Decken (um Drehung zu ermöglichen) nötig macht, auch Gerbergelenke für Unterzüge und Deckenträger ausschließt, welche vorwiegend zur Aussteifung des Gebäudes dienen, ist weitgehend.

Abb. 22. Einfaches Bolzengelenk für Deckenträger und Pfetten. Doppelte Laschen an einem Trägersteg vernietet, stützen in ihrem Kragteil den Gelenkbolzen.

Abb. 23. An die Unterfläche des Koppelträgers genietete Leiste, deren untere Querkanten gebrochen, ruht auf Winkelkragstück des höheren Schleppträgers. Befestigung des lotrechten Schenkels des Kragstückes am Schleppträgersteg und Versteifung des wagerechten gegen den lotrechten Schenkel durch je zwei Winkellaschen. Die Bolzenlöcher der Stegverlaschung sind von reichlicher Weite. Gelenkbolzen vermieden.

Abb. 24. Die Endigungen beider Träger, welche wechselweise oben und unten um ihre halbe Höhe ausgeklinkt sind, greifen übereinander. Gelenkbolzen in wagerechter Trennfuge auf unterem Trägerteil gelagert. Beide Stegteile durch Doppellaschen verstärkt. Zwei an nur einem Trägerteil befestigte, den Gelenkbolzen umfassende weitere Bleche sichern die Träger gegen Seitenverschiebung.

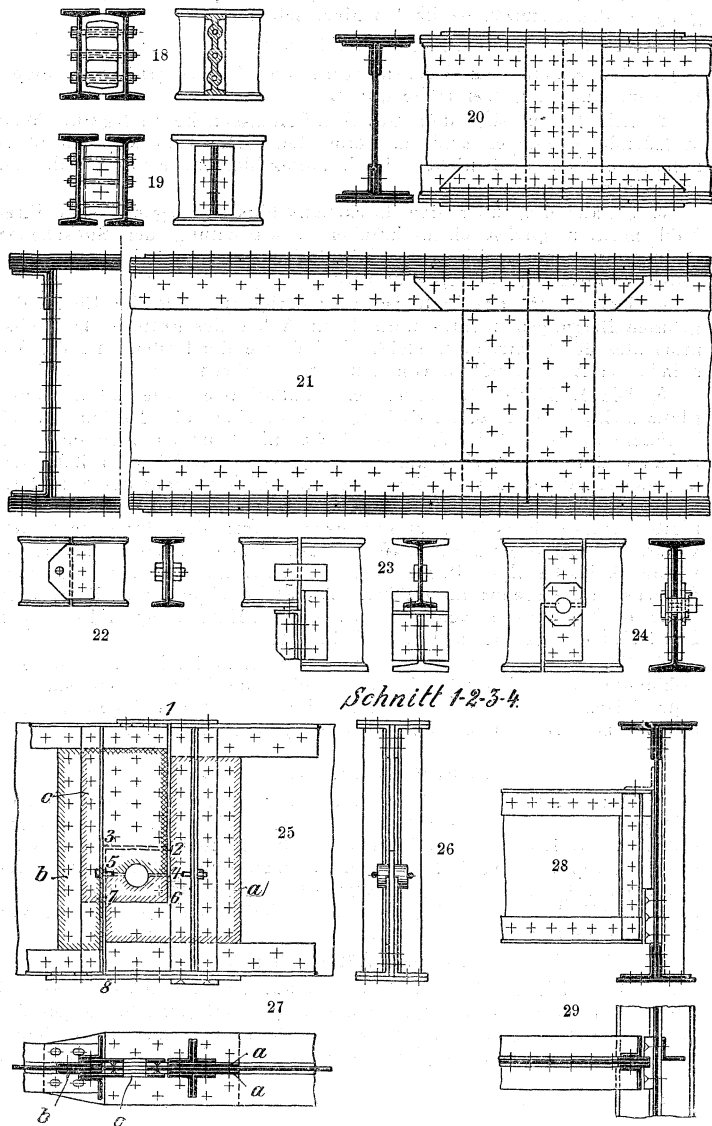
Abb. 25, 26 u. 27 Gelenklager für Blechträger. Trägerendigungen nach 1, 2, 3, 8 ausgeklinkt. Der Steg des Schleppträgers enthält volle Bohrung für den Gelenkbolzen in Höhe 4,5 und Stegverstärkungen durch vier Versteifungswinkel und zwei Doppellaschen *a*, der Steg des Koppelträgers zwei Versteifungswinkel und zwei Doppellaschen *b*. *a* und *b* sind nach 1, 4, 5, 8 ausgeklinkt. Der Koppelträger hat noch doppelte Sicherungsbleche *c* von rechteckiger Form mit Unterkante 6, 7. Leichte Bolzen in Höhe 4, 5, einer auf jeder Seite, welche die abweisenden Schenkel der Versteifungswinkel verbinden, spannen den Stofs in der Trägerachse. Gurtlaschen bei 1 und 8 sind am Schleppträger fest vernietet, am Koppelträger, der Langschlitzlöcher enthält, verschraubt.

Abb. 28 u. 29. Querträger mit Verstärkung durch doppelte Steg-laschen und zurückgesetzten Versteifungswinkeln der Endigung ruht vermöge Ausklinkung auf Knagge des Hauptträgers. Möglichkeit beschränkter Drehung im Auflager und Minderung der durch einseitige Last bewirkten Verdrehung des Hauptträgers gegeben, Winkellasche am Obergurt des Querträgers (Langschlitzlöcher) und Sicherungsbolzen in Höhe Oberkante Auflager wie vor.

4. Stützen.

Herstellung vorwiegend aus Walzisen, weniger aus Gufiseisen. Bei normaler Ausführung erfolgt seitliche Versteifung der Stützen in

Abb. 18 bis 29.



Höhe jeder Decke, darum bei der Berechnung die Geschosshöhe als Knicklänge einzuführen. Stützen mit gelenkartiger Stützung der Endigung — Pendelstützen — im Hochbau seltener.

Ausbildung von Stützen normaler Bauart:

1. Der Schaft, von Deckenträgern und Unterzügen nicht unterbrochen, läuft in ganzer Höhe durch.

2. Alle Lasten sind dem Schaft möglichst nahe zu lagern. Weit ausladende Kraglager sind zu vermeiden. Die vom Kopf zu übernehmende Last wird nicht seitlich angeschlossen, sondern ruht auf ersterem auf.

3. Schaftstöße, über den Deckenanschlüssen liegend, sind ihrer Zahl nach möglichst einzuschränken. Bearbeitung der Stosflächen Bedingung, wenn nicht, was bei Walzeisenstützen möglich, der Stofs durch Verlaschung voll gedeckt wird.

4. Der Schaftquerschnitt ist so zu richten, daß die Ebene des größten Biegemomentes normal zur Achse des größten Trägheitsmomentes des Querschnitts steht. Hebelarme der Lasten sind die Abstände der Auflagermitten von den Strebenachsen.

5. Die Endfläche des untersten Schaftschusses, die auf der Fußplatte steht, ist stets zu bearbeiten, da dort eine volle Deckung durch Verlaschung auch bei Walzeisenstützen nicht immer möglich wird. Schaft und Fußplatte sind durch Rippen von ausreichender Zahl derart gegeneinander zu versteifen, daß eine Einspannung der Sohlplatte an den Rippen vorausgesetzt werden darf. Größe und Form der Fußplatte richtet sich nach Art und Querschnittsform des stützenden Mauerwerks. Allseitige gleiche Ausladung des Fußes hat sparsamen Materialverbrauch im Gefolge. Platten von großen Abmessungen werden vom Stützenschaft getrennt ausgeführt. An Stelle eigentlicher Fußplatten treten oft Trägerroste, welche ihrer einfachen Herstellung und schnellen Beschaffung wegen vielfach Vorteil bieten.

6. Fertig aufgestellte Stützen müssen genau im Lot stehen. Die Sohlplatte des Fußes ist mit Zementschlempe 1 bis 1,5 cm stark zu untergießen, nach deren Erhärten die Montageunterlagen zu entfernen sind. Besondere Gieflöcher bei großen Flächen.

a. Stützen aus Walzeisen.

Sie reichen in der Regel ungestoßen über zwei Geschosse. Eingliedrige, nicht genietete Schäfte vorzugsweise aus I-Greyträgern, selten aus vollem Rohr. Wird der Schaft aus mehreren Gliedern zusammengesetzt, so sind letztere in angemessenen Abständen durch Bindebleche (je 3 Niete), gegebenenfalls auch mittels durchlaufenden Zick-Zack-Verbandes aus Flach- oder Winkeleisen miteinander zu verbinden (Abb. 59).

Normale Ausführungen.

Abb. 30 u. 31. Leichte Stütze, Schaft aus zwei mit Abstand übereck gestellten Winkeleisen, Kopfplatte einseitig in Trägerflucht ausgebildet, für jeden der auflagernden Träger mit ihrem Unterflansch vernietete, etwa 6 cm breite Zentrierplatte, die auf dem Kopf verschraubt ist.

Abb. 30 bis 48.

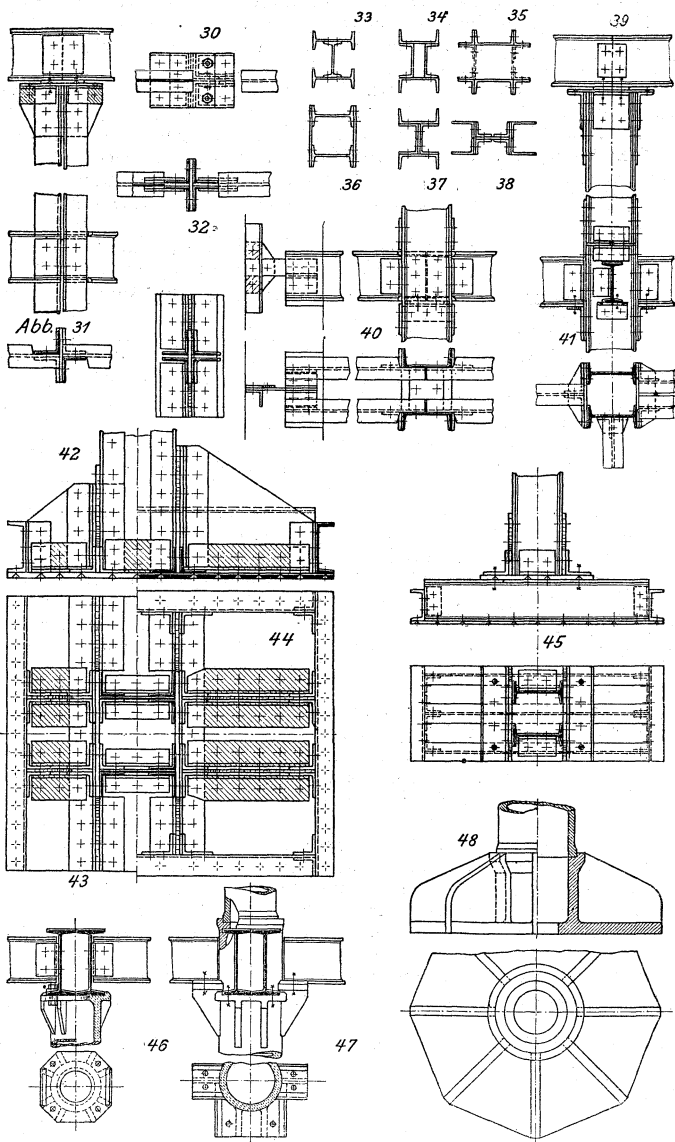


Abb. 31. Deckenträger am Schaft vermöge einseitiger Ausklinkung und zweier besonderen Beiwinkel angeschlossen. Fufs in Art Abb. 32.

Abb. 32. Schaft aus vier mit Abstand in Kreuzform gestellten Winkeleisen, Fufs einseitig gebildet, Saumwinkel des Fufses unterfüttert oder am Schaft gekröpft. Kreuzförmige Fufsplatte entsprechend auszubilden.

Abb. 39, 41 u. 45. Schaft aus zwei mit Abstand voneinander gestellten I-Trägern. Abb. 39 Kopfausbildung, Abb. 40 Deckenanschlufs am Schaft im Auf- und Grundrifs für einen und zwei Unterzugsträger. Abb. 45 Fufs auf Trägerrost gestellt, vgl. Beschreibung zur Abb. 149.

Abb. 40. Deckenanschlufs für zwei Unterzugträger, die im Hohlraum des Schaftes gelagert sind. Trägerendigungen einseitig ausgedrückt, Schaft aus zwei C-Eisen. Wandauflager des Unterzuges nebst Verankerung.

Abb. 42, 43 u. 44. Fufsplatte für Schaft aus zwei Stegblechen und vier (links) bzw. acht (rechts) Winkeleisen. Säumung des Randes der Sohlplatte durch C-Eisen in Abb. 43 an zwei gegenüberliegenden Kanten, in Abb. 44 ringsum. Saumeisen durch die vier Versteifungsrippen einer jeden Plattenhälfte gehalten.

Abb. 51. Fufs, dessen Schaft aus zwei auseinandergerückten C-Eisen in Verbindung mit zwei durchlaufenden Blechlaschen gebildet. Verankerung des Fufses durch vier Ankerbolzen, die am Fufs durch angenietete Schlaufen gehalten werden. Solche Stützen sind zur Uebernahme wagerechter oder zeitweise lotrecht nach oben gerichteter Kräfte geeignet. Ankersplinte aus je zwei C-Eisen.

Andere Querschnittsformen für Schäfte nach Abb. 33 drei I-Träger, Abb. 34 vier C-Eisen, Abb. 35 zwei C- und zwei X-Eisen, Abb. 36 zwei I-Träger und zwei Lamelleneisen, Abb. 37 Lamellensteg, vier X- und zwei C-Eisen, Abb. 38 ein Lamellensteg und acht Winkeleisen, Abb. 56 Schaft aus Quadranteisen, ohne oder mit Abstand voneinander gestellt. Im letzteren Falle Verstärkung der unteren Schüsse durch viermal zwei Winkeleisen oder durch Stegbleche und vier Winkeleisen möglich, die im Schaftekern liegen.

Abb. 59. Frontwandstütze. Unter zwei benachbarten Frontwandpfeilern stehen zwei Arten von Stützen. Nicht dargestellt ist die kürzere, nur durch den 1. Stock reichende, die in Höhe Erdgeschofsdecke auf kastenförmigem Sturzträger der Frontwand steht. Dargestellte Hauptstütze, durch 1. Stock und Erdgeschofs gehend, hat im 1. Stock gleiche Last wie Nebenstütze, im Erdgeschofs jedoch weitere Lasten, vor allem vom Kastenträger herrührende, der auf zwei Hauptstützen ruht. Um in üblicher Art zentrische Belastung der Erdgeschofs-schüsse zu erzielen, zeigt Fufs des oberen Schusses Gabelung, deren Oeffnung zum Einführen der Auflagerendigung des Kastenträgers dient. Stark einseitige Belastung des unteren Schusses einerseits oder ungünstig wirkende Aufstellung des oberen Schusses auf Kastenträgerendigung anderseits vermieden.

Pendelstützen. Vgl. Beschreibung zu Abb. 131 u. 132. Stützen, welche Pendelung nach jeder Richtung ermöglichen sollen, erhalten an ihren Enden Kugelzapfenlager.

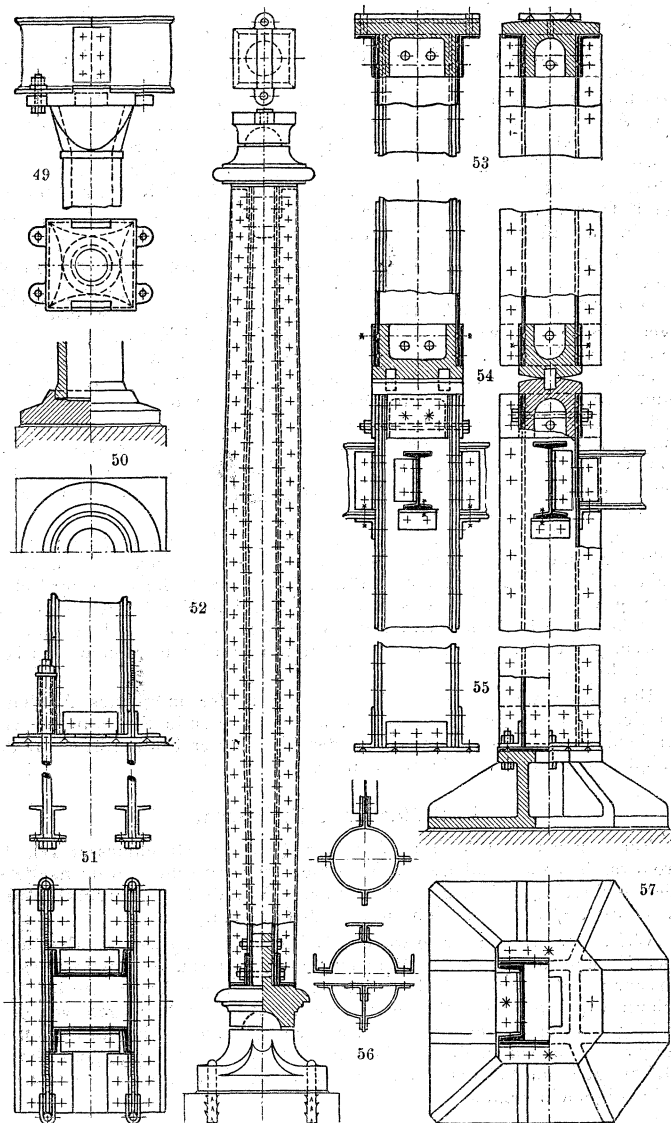


Abb. 52. Pendelstütze, deren Schaft aus zwei Stegblechen mit je zwei Saumwinkeln und zwei Lamellen gebildet, von der Mitte nach beiden Endigungen hin verjüngt auslaufend. Pendelstücke der Stütze aus Gußeisen, am Kopf mit Kugelnzapfen, am Fuß mit Kugellager versehen, treten mit Blattstücken in den Hohlraum des Schaftes ein, wodurch dort Verschraubung ermöglicht wird. Kopf und Fuß gleichfalls als gesonderte Gußteile gebildet. Ersterer enthält auf seiner Oberfläche Gußleiste für Lagerung und zwei Lappen zur Verschraubung des lastenden Trägers, an der Unterfläche Kugelnzapfenlager; der Fuß, den Kugelnzapfen enthaltend, ist auf Werksteinunterlage verübelt. Schaft oft in reicher Ausführung aus Gußeisen.

Stützen, welche nur in einer Richtung pendeln sollen, erhalten an ihren Endigungen Wälzgelenke.

Abb. 53, 54, 55 u. 57. Stützenzug mit Schäften aus Walzeisen, aus zwei \square -Eisen und zwei Lamellen gebildet, Fuß und Kopf sind Gußteile. Oberer Schuf zeigt Pendelstütze letzterer Art, die den Längenausgleich einer auf ihr ruhenden Träger-(Dach-)konstruktion vermittelt, unterer Säulenschuf ist normal mit Deckenanschlufs und gußeiserner Fußplatte ausgebildet, letztere für zwei Ausführungen. Die Gußgelenkstücke, an den Köpfen beider Schüsse und am Fuß des Pendelschusses vorgesehen, ragen in die Hohlräume der Stützen hinein und sind dort verschraubt. Abgleiten der Pendelsäule von ihrer Unterstützung durch zwei Stahlstifte verhindert.

Abb. 60. Vrgl. Abb. 121 u. 121 a. Die Pendelstützen übernehmen lotrechte Lasten der Dachbinder und bewirken ihren Längenausgleich. Senkrecht zur Bildebene dienen die Stützen in ganzer Höhe auch zur Uebertragung wagerechter, auf das Dach entfallenden Windkräfte. Das wird möglich durch Einbauen von Windkreuzen zwischen zwei benachbarten Stützen, wobei letztere in Gemeinschaft mit den Kreuzen eine Pendelwand bilden.

Um durch unvorhergesehene seitliche Stöße mögliches Abgleiten der Pendelstützen zu verhindern, sind ausreichende Sicherungen vorgesehen, auch in zulässiger Weise das Heften der Stützenfüße auf den Fußplatten durch zwei Schraubenbolzen.

b. Stützen aus Gußeisen.

Für Innenstützen kreisringförmiger (äußerer Durchmesser D), für Frontwandstützen (Ladenwände) hohler quadratischer (Aufsenseite a) oder rechteckiger Querschnitt üblich, Wandstärke durchschnittlich $\frac{1}{10} D$ bzw. $\frac{1}{10} a$, aber nicht unter 1,6 (1,3) cm.

Weite der Kragstücke etwa ein Drittel der Trägerhöhe, aber nicht über 12 und unter 6 cm. Verschraubung der aufliegenden Trägerflanschen auf Kopf- und Kragplatten. Seitliche Ränder an letzteren sichern die Träger vor Seitenverschiebung. Verankerungen von Steg zu Steg der durch den Schaft getrennten, in gleicher Flucht liegenden Träger ratsam, wobei die Flacheisenanker entweder gerade durchlaufen (Öffnungen im Schaft) oder um den Schaft gelegt sind; letzteres nicht allgemein üblich.

Abb. 46, 47, 48. Einzelheiten für runde Innenstütze. Abb. 46 zeigt Kopf, Abb. 47 muffenartigen Stofs (event. mit Bleiringeinlage) zweier Schüsse und Lagerung der Deckenunterzüge und Träger auf Krag-

Abb. 58.

Abb. 59.

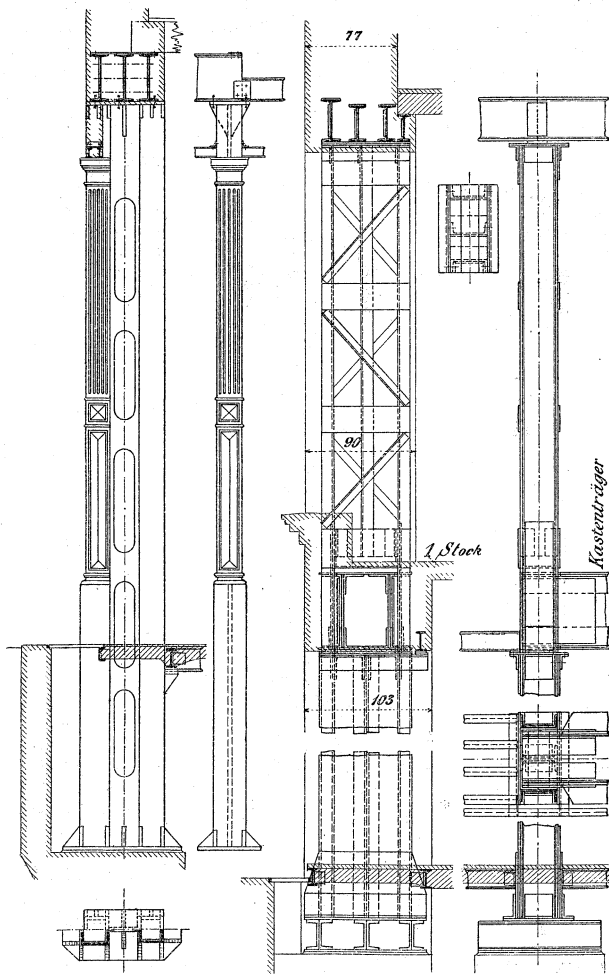
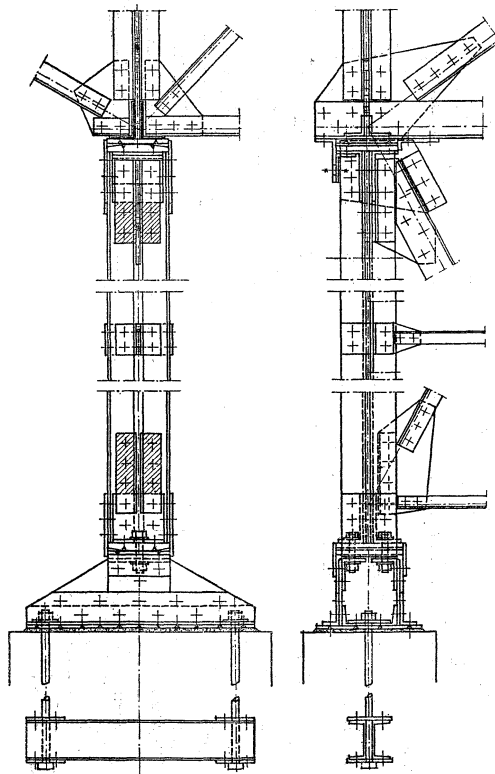


Abb. 58 a.

stücken. Letztere, für nur einen Träger bestimmt, mit einer, für zwei Träger mit zwei Rippen. Abb. 48. Fufs mit getrennt ausgeführter Fufsplatte von regelmässig achtseitiger Form. Grundrifs nach Abb. 57 gleichfalls möglich. Bei kleineren Ausführungen keine Trennung zwischen Schaft und Fufs.

Abb. 49 u. 50. Einschüssige Stütze, sonst Schaft wie vor. Abb. 49. Kopf (Würfelkapitell), dient zur Auflagerung eines Unterzuges (zwei Träger), auf welchem die Deckenträger liegen. Seitliche Ränder und Verschraubungen — für letztere sind vier Lappen vorgesehen — der

Abb. 60.



Träger. Abb. 50. Fufsplatte, für nicht zu hohe Last als volle kreisrunde Scheibe ausgebildet, liegt mittels Zementfuge auf hartem Material, z. B. Sandstein oder auch rauhgestocktem Granit auf.

Abb. 58. Frontwandstütze, von der Fenstersohlbank des Kellers bis zur Decke des Erdgeschosses gehend, aus zwei Schäften von hohlem Rechteckquerschnitt gebildet, die durch Mittelrippe, die Aussparungen enthält, mit einander verbunden. An der Innenflucht des vorderen verzierten Schaftes wird Rahmen für Schaufensteranlage befestigt, die bis zum Keller durchgeführt werden kann. Hier Unterbrechung des Fensters durch Kellerdecke und deren Anschlüsse an Stütze dargestellt. Hoher Fenstersturz im Erdgeschoss, der auf besonderem leichten Unterzug (zwei I-

Träger) liegt, verdeckt Jalousierolle. Ausbildung von Kopf und Fufs aus Abb. 58a ersichtlich.

5. Dachkonstruktionen.

Dachformen, vrgl. Holzkonstruktionen S. 344 u. f.

Uebliche Neigungen der Dächer vrgl. S. 422 Dacheindeckungen.

Belastungsannahmen vrgl. III. Bd., Abschn. Statik der Baukonstruktionen.

Für einfachere Ausführungen, bei Dachneigungen unter 25^0 , genügt es, Wind und Schneelast durch eine gleichförmig verteilte Last von 100 kg/qm Grundriffs zu ersetzen. Für flache Dächer mit Menschenlast 250 kg/qm zusätzlich.

Dachhaut auf 2,5 cm starker gespundeter **Schalung**, auch auf hölzernen Latten 4,5 . 6,5 cm, eisernen **Latten**, Winkeleisen 30 . 30 . 3 mm, oder feuersicherer Unterbettung aus **Bimsbeton** mit Eiseinlage (bei 2,5 m Weite 6 cm Stärke) eingedeckt. **Sparren** (Sparrendächer) und Pfetten (Pfettendächer), vrgl. Holzkonstruktionen S. 345, aus Hölzern 13 . 13, 13 . 16 bis 16 . 16 cm Querschnitt, auch aus **L-Eisen** oder **I-Trägern**, durchschnittlich 12 cm hoch, Freilänge selten mehr als 4 bis 4,5 m.

a) Pfetten.

Für Sparrendächer, jetzt seltener aus Holz (Abb. 142, 143) (durchschnittlich 21 : 24 cm, auch mehr), gewöhnlich aus **L-Eisen** und **I-Trägern** (selten **Z-Eisen**), die entweder auf den Binderrücken aufliegen oder an den Obergurten der Binder angelascht sind (Abb. 134 bis 139), Stellung lotrecht oder normal zur Dachneigung (Abb. 61). Bei Berücksichtigung des wagerechten Winddruckes (Dachneigung $\alpha > 25^0$) erfordert Anordnung der Pfetten besondere Maßnahmen, da einfache Walzprofile (**L-Eisen**, **I-Träger**) hier nicht sparsam sind. Das gilt auch noch für **I-Greyträger**, **3L-Eisen**, **L-** und **3-Eisen**. Verlegung der Trägerstege in die Richtung der Mittelkraft der Lasten wohl sparsam, aber umständlich in der Ausführung. Bei normalen Verhältnissen hilft man sich, indem die **I-Pfette** durch ein aufgelegtes **L-Eisen** ergänzt wird, wobei beide nur an

Abb. 61.

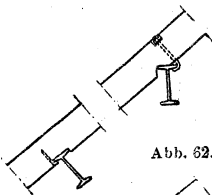


Abb. 62.

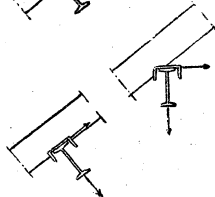


Abb. 63.

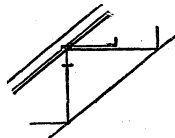
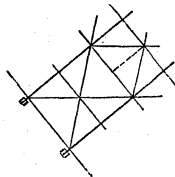


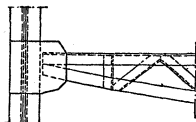
Abb. 64.



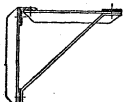
ihren Enden miteinander lose verschraubt sind und somit einzeln an der Lastaufnahme teilnehmen (Abb. 62). Statt des **L-Eisens** auch Holzbalken (Abb. 135 bis 136), wodurch einfache Nagelung der hölzernen Sparren möglich wird. Bei größeren Ausführungen werden an Stelle der aufgelegten Verstärkungen in gleicher Ebene liegende leichte Fachwerke verwandt (Abb. 63) vrgl. Abb. 118, auch seitliche Zwischenver-

steifungen langer Pfetten unter Zuhülfenahme der in den Dachflächen erforderlichen Windverbände möglich, die dann stellenweis größere Ausdehnung erfordern (Abb. 64). Bei steilen Hallendächern bildet man Pfetten auch als zweiwandige Fachwerke (von Dreieckquerschnitt) aus (Abb. 65). Sparrenlager auf gemauerten Frontwänden mittels Mauerlatten 10. 10 cm

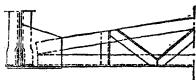
Abb. 65.
Ansicht



Querschnitt



Grundriss



(Abb. 140). Befestigung der Pfetten an den Bindern durch Verschraubung ist ausreichend. Die hierbei unvermeidlichen Spielräume zwischen Pfetten und Bindern einerseits und Bolzen und ihren Löchern anderseits machen oft die Anordnung von Dehnfugen unnötig. Geringer Materialverbrauch wird durch Anordnung der Pfetten als Gerberbalken angestrebt. Kontinuierlich wirkende Pfetten kommen nur ausnahmsweise vor.

b) Tragwerke.

Vorwiegend statisch bestimmte Träger als einfache Balkenbinder, auch als Krag- und Gerberbinder, und Dreigelenkbogen, seltener statisch unbestimmte Zweigelenkbogen und gelenklose Rahmen. Räumliche Systeme in Form von Zelt-, Kuppeldächern und Türmen.

Für Balkenbinder flacher Dächer, die auf ihre Unterstüzungen nur unerhebliche wagerechte Windlasten übertragen, sind an sich zwei lose Auflager zulässig. Andernfalls muß ein Auflager zur Uebertragung des Windes fest, das andere behufs Längenausgleiches lose angeordnet werden. Längenänderung eines 1 m langen Eisenstabes bei 100° C. Temperaturänderung 1 mm. Da für letztere nur 70° ($\pm \frac{45}{25}$) zu berücksichtigen sind, genügt die Annahme von 1 mm Lagerverschiebung für 1 m Trägerlänge auch mit Rücksicht auf elastische Längenänderungen.

Solche Ausbildung der Auflager erfordert oft derart hohe Abmessungen der beiden für sich stehenden Wände, wie sie bei Monumentalbauten noch zulässig, nicht aber bei einfachen Nutzbauten erwünscht sind. Darum weicht man bei letzteren von oben gestellter Forderung derart ab, daß beide Binderfüße auf den fest verankerten Auflagerplatten durch Klemmplatten beschränkt festgehalten werden (Abb. 141). Die auftretende Reibung ermöglicht hierbei eine Verteilung des Windes in beide Wände, die so praktisch zulässige Stärken erhalten. Längenänderungen durch Temperaturwechsel vermögen diese Klemmplatten nicht aufzuhalten, weil insbesondere die Wände einfacher Hallenbauten auch Seitenbewegungen von mehreren Zentimetern ungefährdet ausführen. Vgl. sonst a. Wandauflager S. 360.

Bei Hallenbauten, die unterhalb der Dachkonstruktion durch seitlich steife, zwischen den tragenden Pfeilern sich spannende Gewölbe abgeschlossen werden, wird letzteren die Windverteilung in die standfähigen Mauerkörper überwiesen. Dort ein festes und ein bewegliches Binderauflager ohne weiteres anwendbar. Nach Art und Größe der jeweiligen Aufgabe können als feste und bewegliche Auflager alle

auch im Brückenbau üblichen Gleit-, Bolzenkipp-, Stelzen-, Tangentialkipp- und Kugelszapfenlager Verwendung finden.

Pultförmige Kragdächer für Vorfahrten, Laderampen und Hofbedachungen werden in den Frontwänden gehalten.

Binder mit Kragarmen (einfach und doppelt) erweisen sich 10 bis 20 vH sparsamer im Materialverbrauch als einfache Balkenbinder. Ähnlich verhalten sich Binder in Gerberbauart. Da die Untergurte jedoch auf gröfsere oder ganze Länge Druck erleiden können, erfordern ihre Knotenpunkte gewöhnlich Querversteifungen, welche die bei den Bindern möglichen Ersparnisse stark vermindern.

Drei- und Zweigelenkbogen (Fachwerke) verhalten sich gleichartig.

Solche Versteifungen können durch kopfbandartige, von den Knotenpunkten nach Punkten entsprechender Pfetten laufende Streben gebildet werden (Abb. 66). Besser wird Binderteilung so grofs gewählt, dafs Anordnung von Gitterpfetten lohnt, deren Untergurte die zu versteifenden Knotenpunkte in gerader oder gebrochener Linien-

Abb. 66.

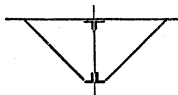


Abb. 67.

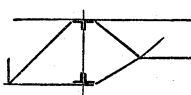
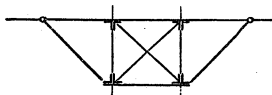


Abb. 68.



führung verbinden (Abb. 67). Kostspieliger, aber vollkommen ist die Anordnung von Doppelbindern in durchschnittlich 1 bis 2,5 m Abstand voneinander, deren Untergurte durchlaufender Kreuzverband zusammenhält. Hierzu kommen in den Bindernormalschnitten, bei den Pfettenanschlüssen, noch Versteifungskreuze. Hinzufügen der zuerst angeführten, kopfbandartig gegen die Pfetten geführten Streben legt Ausführung von Gerber-Pfetten nahe (Abb. 68).

Die Gelenkbinder werden bei Hallenbauten oft bis zum Fußboden heruntergeführt, darum richtet sich dort der Verlauf der Gürtungen nach dem Querschnitt des Gebäudes. Beim Dreigelenkbogen kann das Scheitलगelenk im Ober- oder Untergurt oder zwischen beiden liegen. Erste Möglichkeit bietet für Durchbildung des Kreuzverbandes Vorteile. Kämpfergelenke sind möglichst nach innen zu rücken. Dreigelenkbogen sind unabhängig vom Temperaturwechsel, was theoretisch gegenüber dem Zweigelenkbogen etwa 10 vH Ersparnis ausmacht. Letztere und steife Rahmen, im Hochbau nach jeweiliger Verwendung sehr verschieden, lassen die Angabe allgemein gültiger Konstruktionsregeln nicht zu; diese Systeme, ebenso Kuppelbauten (Schwedler und Zimmermann), und andere räumliche Systeme, z. B. Zeltdächer, Türme usw., werden an Hand nachfolgender Beispiele besprochen.

Für alle angeführten Bauarten der Binder gilt übrigens der Grundsatz, dafs durch Wahl des Systems bewirkte Materialersparnis gewöhnlich höhere Ausführungskosten für die Gewichtseinheit erwarten läfst.

Stabquerschnitte.

Mit Ausnahme der zwei übereck gestellten Winkleisen (Abb. 70), die in der Regel nur für gedrückte Stäbe Verwendung finden, können für ge-

zogene und gedrückte Stäbe gleichmäÙig Querschnitte aus zwei nebeneinandergestellten Winkleisen (Abb. 69), vier Winkleisen in Kreuzform (Abb. 71), in I-Form (Abb. 72), zwei Winkleisen mit Stegblech (Abb. 73) und zwei C-Eisen (Abb. 74) als Grundformen verwandt werden. Alle vor-

Abb. 69. 70. 71. 72.

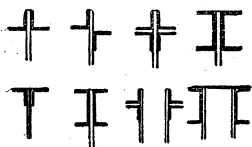


Abb. 73. 74. 75. 76.

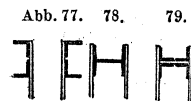


Abb. 77. 78. 79.



genannten Querschnitte gelten für einwandige Fachwerkträger, bei welchen die durch die Binderebene geteilten Hälften der Querschnitte zur Aufnahme nur eines Knotenbleches um die Stärke des letzteren auseinandergerückt sind. Bei doppelwandigen Fachwerken können für gezogene und gedrückte Stäbe gleichmäÙig I-(Grey-)Träger (Abb. 78), vier Winkleisen in drei verschiedenen Anordnungen (Abb. 75, 77 u. 79) und zwei C-Eisen mit und ohne Decklaschen (Abb. 76) als Grundformen dienen. Gegebenenfalls Verstärkung aller Grundformen durch Lamellen- und Winkleisen in zahlreichem Wechsel ausführbar. Bei doppelwandigen Systemen ist der Abstand der beiden Knotenbleche so groß zu wählen, daß die Nietarbeit überall gut ausführbar ist. Auch ist zu unterscheiden zwischen Anordnung der Wandglieder außerhalb oder innerhalb beider Knotenbleche. Für gezogene Stäbe dienen auch ein oder zwei Flacheisen bzw. Rundeisen, letztere, wenn besonders leichtes Aussehen erwünscht ist. Ueber Ausbildung der Augen und Spannschlösser für Rundeisen vgl. Abb. 135, 137 u. 138.

Gedrückte, aus zusammengesetzten Querschnitten gebildete Glieder werden durch Bindebleche und durch leichtes Gitterwerk miteinander verbunden. Beide Arten können gleichzeitig

Abb. 80.

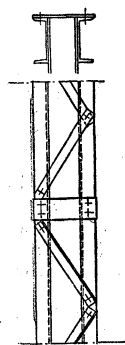


Abb. 81.

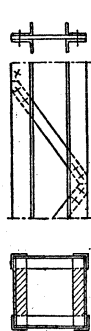


Abb. 82.

oder einzeln Anwendung finden (Abb. 59, 80 u. 81). Solche Einzelglieder verhalten sich der Knickung gegenüber als Ganzes, wenn bei ausreichend kräftigen Querschnitten und Anschlüssen die Verbindungen ihre Entfernung nicht größer als die Knicklänge der zu verbindenden Profile ist. Bei Querschnitten größerer Abmessungen für Bindebleche mindestens zwei, besser drei Nieten für jedes Einzelglied. Gitterverbände aus Flacheisen, besser ungleichschenkligen Winkleisen 60.30.7 (9) oder 75.50.7 (9) mm, ein oder zwei Nieten zum Anschluß. Nur auf Zug beanspruchte Stäbe von zusammengesetztem Querschnitt werden gleichfalls durch Bindebleche, die aber in größeren Entfernungen angeordnet, zusammengehalten.

Die Freilänge gedrückter Stäbe kann in der Binderebene durch Einfügung von Hilfsstäben verkürzt werden (Abb. 104 u. 108). Zusammengesetzte Glieder erhalten Querversteifungen, die normal zur Stabachse liegen, wenn Erschütterungen auftreten. Quer-

versteifung in Abb. 68 aus sich kreuzenden Winkleisen, Abb. 82 aus vollem Blech mit Saumwinkeln gebildet.

Anordnung der Binder.

Balkenbinder.

Einfache Satteldächer. Einzelheiten einfacher Binder Abb. 134 bis 145. Höhe der Binder $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$, durchschnittlich $\frac{1}{10}$ der Stützweite.

Abb. 83. Dreiecksbinder nur für Firstpfette, Untergurt wagerecht und in seiner Mitte am Firstknotenpunkt aufgehängt.

Abb. 84. Obergurt im mittleren Teil zwischen beiden Mittelpfetten (keine Firstpfette) wagerecht. Untergurt mit zweiseitigem Anzug nach der Mitte hin.

Abb. 85. Für eine Firstpfette und zwei Mittelpfetten, links deutscher, rechts einfacher Polonceaubinder.

Abb. 86. Laternenaufbau der First ganz durchlaufend oder nur stückweise. 5 Felder. Zwischen Laternenaufbauten kragen Sparren über (vgl. Abb. 84). Die Laterne enthält zwei Traufenpfetten und eine Firstpfette, letztere durch Hilfsfachwerk (Sprengbock) abgestützt.

Abb. 87. Zusammengesetzter Polonceaubinder. 8 Sparrenfelder. Entsteht durch Einbau von vier Hilfssystemen aus Abb. 85 rechts.

Abb. 88. 6 Felder. Die gedrückten Wandglieder stehen senkrecht zum Obergurt, Untergurt mit ein- (links) bzw. zweimal geknickter Linienführung.

Abb. 89 für 8 Felder. Bei der linken Hälfte werden die lotrechten Wandglieder gezogen, die schrägen gedrückt; englischer Binder. Rechte Hälfte für Trempel, gedrückte Stäbe möglichst kurz, sparsam und luftig aussehend.

Abb. 90. Mansarddach mit Glasdeckung in den Mansardflächen und im Firstfeld (links), letzteres auch mit Laternenaufbau. System ähnlich wie Abb. 89. Für die schmalen Firstfelder zwei leichte Hilfssysteme erforderlich.

Abb. 91. Binder bei Trempelanordnung. Wandglieder vgl. Abb. 89 links. Unterer Gurt geschwungen, von Knoten- zu Knotenpunkt gerade.

Abb. 92. Obergurt hat wagerechten mittleren Teil für satteldachartiges großes Oberlicht. Niedrige Trempel bei den Auflagern.

Abb. 93. Binder mit zwei Kragarmen für Mansarddach, auf zwei im Mansardgeschofs angeordneten Säulen stehend. Gitterpfetten in den beiden Säulenfluchten jeder Seite, um Säulenpunkte in Höhe Untergurt seitlich versteifen zu können.

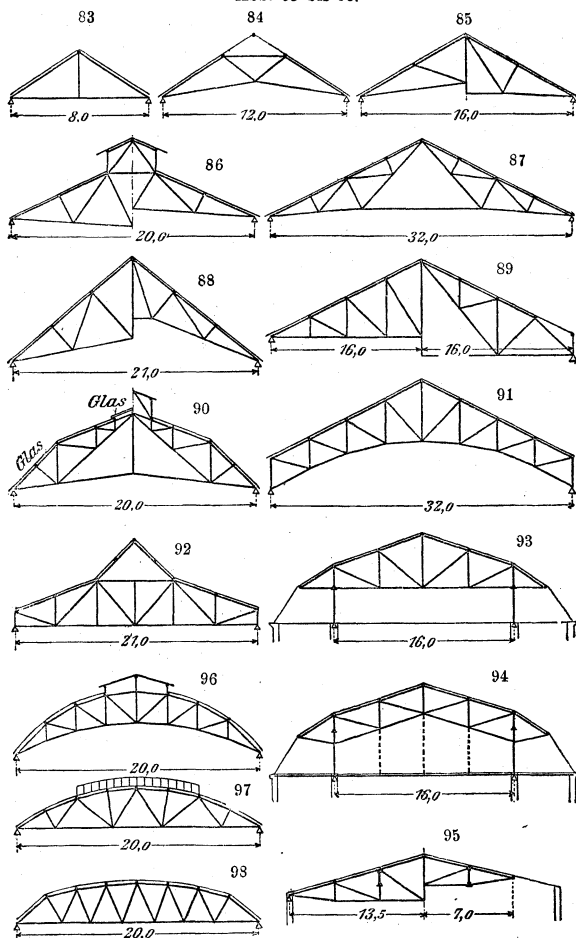
Abb. 94 wie vor, doch Untergurt mit dreimal geknickter Linienführung und durch drei Hängestangen überbrachte Deckenlasten in seinen Knotenpunkten.

Abb. 95. Dachneigung flach, darum Untergurt unter Auflager in den Raum reichend. Binderentfernung besonderer Umstände wegen groß, darum zwischen zwei Hauptbindern (links) ein Zwischenbinder (rechts) mit doppelten Kragarmen eingeschaltet, auf zwei Gitterpfetten ruhend, die in Flucht der zweiten lotrechten Wandglieder liegen. Alle übrigen Pfetten aus einfachen Profilen. Räumlich von guter Wirkung.

Parallel(Gitter)träger vgl. Abb. 104 u. 115.

Abb. 96 u. 97. Parabelträger. Bei gleichmäßiger Belastung sind die Wandglieder spannungslos, was auch gilt, wenn Parabel durch Kreisbogen ($h \leq \frac{l}{8}$) ersetzt wird. Untergurt von beliebiger Form; ist er

Abb. 83 bis 98.



auch parabolisch (Abb. 96), so heisst Binder Sichelträger, ist er gerade (Abb. 97), Fischbauchträger. Gewicht ersparnis dem Parallelträger gegenüber etwa 15 bis 20 vH.

Abb. 98. Halbparabelträger. Er entsteht, wenn ein Gurt nach Parabel geformt ist, der nicht nach den Endpunkten des anderen hinläuft, sondern davon entfernt bleibt. Hier dehnt sich Parabelgurt nur zwischen den beiden äußeren Pfetten aus, sonst zwischen den Auflagervertikalen, die aus besonderen Pfosten zu bilden sind. Gewicht zwischen Gitter- und Parabelträger.

Pultförmige Kragdächer.

Abb. 99 übliche Form mit lot- und wagerechter Abstützung am unteren und wagerechter Verankerung am oberen Gurt. Der Untergurt in ganzer Länge auf Druck beansprucht.

Abb. 99 bis 106.

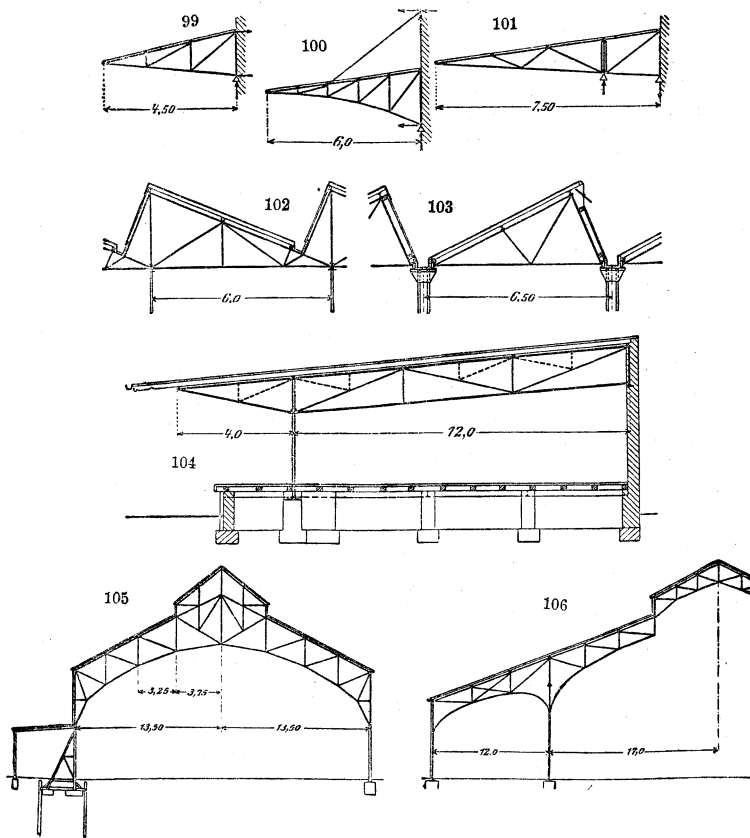


Abb. 100. Stützung am Untergurt wie vor, Obergurt an der Wand lose, aber Aufknüpfung eines seiner äußeren Knotenpunkte durch geneigte Zugstange an festem Wandpunkt (bei Deckenanschlufs). In beiden Gurtungen wechselt der Sinn der Beanspruchung. Wird Obergurt gleichfalls in der Wand festgehalten, so wird Anordnung statisch unbestimmt.

Abb. 101. Bei größeren Kragweiten stützen sich Binder noch auf einen vor der Frontwand und ihr parallel liegenden Unterzug, welcher seinerseits auf Wandgiebeln oder sonst in größeren Abständen (Vielfaches der Binderteilung) auf eisernen oder gemauerten Stützen ruht.

Shed(Säge)dach.

Die Glasflächen, die selten senkrecht, gewöhnlich aber unter 60° geneigt sind, zeigen nach Norden. Winkel an der First 90°.

Abb. 102 u. 103 zeigt zwei Arten, nach Anordnung der Dachrinnen verschieden. Um enge Säulenstellungen zu vermeiden, legt man in die Säulenfluchten Gitterunterzüge, welche größere Zahl von Bindern abfangen. Hierfür Anordnung Abb. 102 besonders geeignet, wo Unterzüge in Flucht der vertikalen Auflagerwandglieder liegen. Schrägstäbe der Unterzüge aus Rundeisen.

Schleppdach.

Abb. 104. Binderanordnung für Laderampe. Einschränkung der Stützenszahl wieder vermöge Gitterunterzuges, der in Höhe des Wandgletes über Stütze der Giebelwand parallel verläuft. Punktierter Hilfsysteme in Binder dienen nur zur Minderung der Knicklänge des Binderobergurtes in Bildebene.

Hallendächer.

Abb. 105. Freistehender Hallenbau nebst einseitig vorgelegter niedriger Halle mit Pultdach. Letztere läßt ohne Schädigung ihrer Benutzungsmöglichkeit Ausbildung der Zwischenwand in verstreifter Form zu. Ihre Füße bei unsicherem Baugrund und vorübergehendem Gebrauch des Gebäudes (Ausstellungszwecke) durch Pfähle gesichert. Stütze der frei stehenden hohen Frontwand pendelnd. Hauptbinder mit parabolisch gekrümmtem Untergurt und Zwickeln bei den Auflagern. Für breite Firstlaterne Verwendung leichter Hilfsfachwerke nötig.

Abb. 106. Verwendung von Gerberträgern bei dreischiffiger Halle. Zwei Schleppträger spannen sich über die Seitenhallen und kragen in die Mittelhalle bis zum großen Oberlicht aus. Koppelträger dient zur Errichtung des Oberlichtes. Längsversteifung in den Stützenfluchten jeder Seite durch Gitterträger, auch sonst Querversteifungen erforderlich. Vrgl. S. 375.

Abb. 107. Einschiffiger Saalbau, durch Tonnengewölbe überspannt. Obergurt mit wagerechtem Mittelteil. Oberer Dachteil aus Holz. Binderfüße mit Rücksicht auf geringe Stärke der Frontwände weit heruntergeführt. Der Untergurt, der Gewöbelinie folgend, stützt in einzelnen Knotenpunkten I-Träger, welche zur Befestigung des Scheingewölbes (Drahtputz) dienen. Trägt sich das Gewölbe frei (Mauerwerk, Eisen-

beton), so kann sein Schub von den Binderfüßen aufgenommen und in den Binder geleitet werden. Letztere nicht sparsame Anordnung vermeidet im Saalbau sichtbare Anker.

Abb. 107 bis 112.

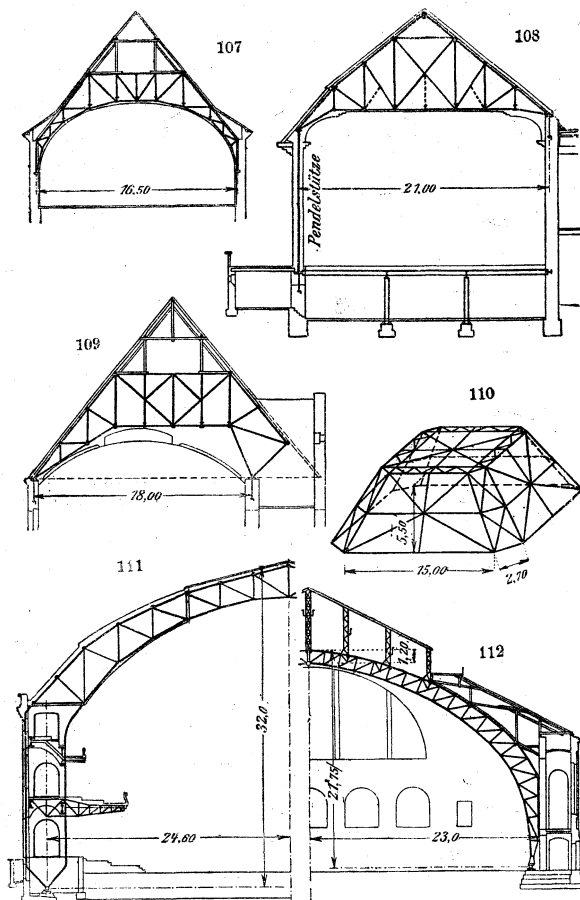


Abb. 108. Rücklage des Saalbaues durch anschließende Gebäude zur Aufnahme der wagerechten Windlasten ausreichend. Leicht ausgeführte Frontwand enthält unter den Auflagern der Binder Pendel-

stützen. Binder unsymmetrisch zur First, deren Pfette durch besonderen Sprengbock abgestützt wird. Stuckdecke und Dachboden

Abb. 112 a.

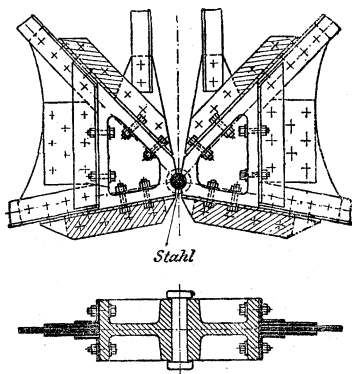


Abb. 112 b.

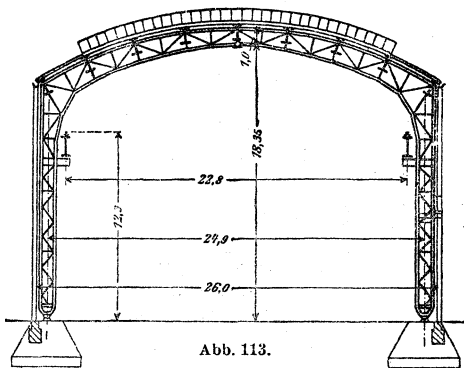
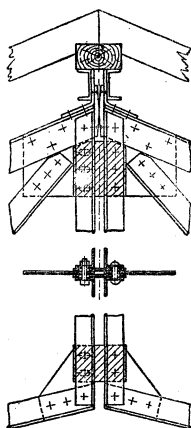
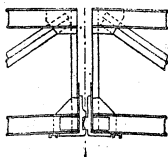


Abb. 113.

durch Mittel- und mit ihr verbundener Rückwand. Oberer Dachteil Holz, Binder unsymmetrisch zur First, Kragteil einseitig. Scheingewölbe aus Rabitz wird wieder vom Untergurt getragen.

Abb. 113 b.



ruhen durch besondere Träger in den Knotenpunkten des Untergurtes auf.

Abb. 109. Aufnahme der Windlast

Abb. 113 a.

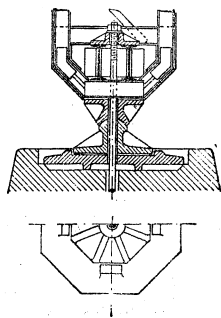


Abb. 114 bis 118.

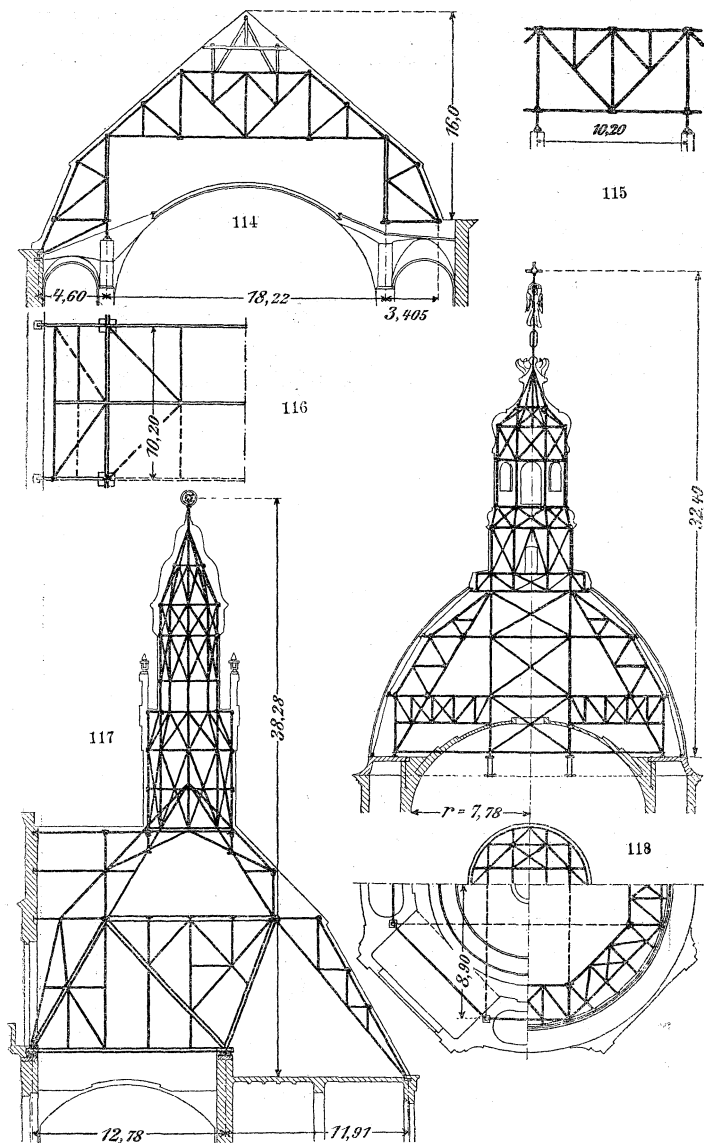


Abb. 114 bis 116. Hohes Mansarddach über dreischiffiger Halle. Abstand der Innenstützen (auch der Frontwandpfeiler) voneinander 10,2 m. Oberer Dachteil aus Holz, darunter überdecken trapezförmige Binder, Stützweite von Mitte zu Mitte Innensäule 18,22 m, bei 5,10 m

Abb. 118 a.

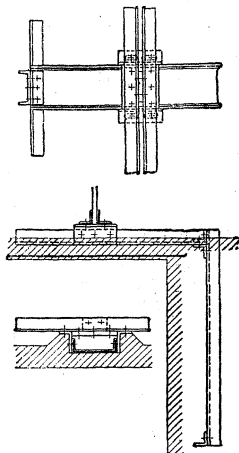


Abb. 118 b.

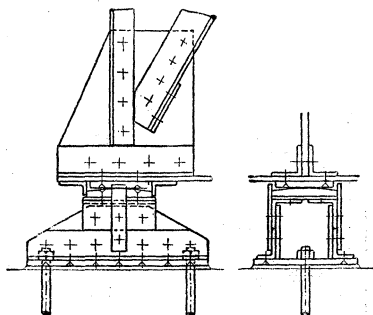
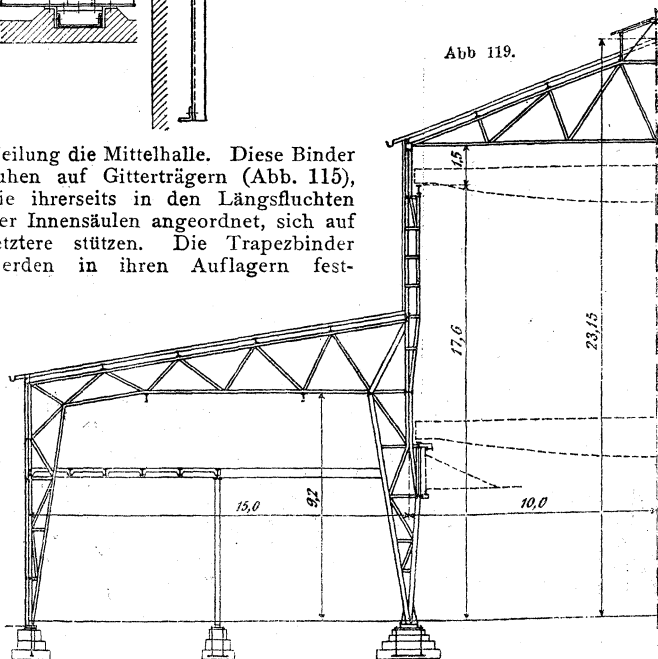


Abb. 119.

Teilung die Mittelhalle. Diese Binder ruhen auf Gitterträgern (Abb. 115), die ihrerseits in den Längsfluchten der Innensäulen angeordnet, sich auf letztere stützen. Die Trapezbinder werden in ihren Auflagern fest-



geklemt. Binder der seitlichen Dachteile in Verbindung mit den Gitterträgern über den stützenden Pfeilern (links) durch festen Bock, in den Zwischenlagen als Kragbinder (rechts) ausgebildet. Grundriß (Abb. 116) im oberen Teil in Höhe Untergurt des Trapezbinders, im unteren in Höhe Untergurt des Kragteiles dargestellt, läßt Anordnung notwendiger wagerechter Verbände in diesen Höhenlagen erkennen. (Gewölbeartige Decke aus Eisenbeton nach Art von Gerberträgern, vgl. Abb. 106, freitragend und schubfrei errichtet.)

Abb. 117. Hohes Mansarddach mit Giebelvorbau und hohem Dachreiter. Freitragende Gewölbe und Decken unterhalb Dachkonstruktion vermitteln Windverteilung in alle Wände. Hauptbinder trapezartig mit festem Auflager auf der Mittelwand. Ueber oberer Parallelseite dreiseitiger Sprengbock, der bis zur First reicht. Leichte Fachwerkaufbauten auf Bindergurt links und den Bockstreben tragen in den Knotenpunkten der oberen Begrenzungen die Pfetten, die hart unter Dachhaut liegen. Aeußerster Kragpunkt des Hauptbinders nimmt Stichträger mit beweglichem Anschluß auf, der zur Unterstützung der rechten Mansardfläche dient. Fufspunkt dieses Stichträgers auf Frontwand fest. Achtseitiges Gerüst des Dachreiters, in der Mitte zwischen zwei Bindern angeordnet, steht unmittelbar auf zwei Gitterpfetten und mittels besonderer Wechsel auf. Näheres über Dachreiter S. 395.

Abb. 120. Hohes Mansarddach mit Dachreiter, letzterer wieder auf besonderen Gitterpfetten stehend, die sich an beide Mittelvertikalen der Binder anschließen. Letztere über alle drei Schiffe der Halle gespannt. Binderuntergurt mit vierfach geknickter Linienführung stark nach oben gezogen. Bei Anordnung nur eines festen Auflagers verteilt seitlich steif errichtetes Gewölbe nebst Dachboden den Wind in die widerstandsfähigen Wände. Bei Anordnung einer den Hallenraum durchdringenden Verankerung der Binderfüße sind Binder als Zweigelenkbogen ausführbar.

Abb. 121 u. 121a. Wie vor, Binder jedoch unsymmetrisch und nur über Mittelhalle gespannt. Links überträgt Fachwerkfufs des Binders wagerechten Wind auf Innenpfeiler, der durch seitlich steifes Gewölbe mit den standfähigen Wänden in Verbindung steht, rechts stützt sich Binder auf Pendelstütze. Normal zur Bildebene Uebertragung des Windes unter Zuhülfenahme von Kreuzverbänden zwischen den Stützenpaaren (Pendelwand), Abb. 121a, Einzelzeichnung Abb. 60, in die Stützenfüße. (Gewölbe aus Eisenbeton vgl. Abb. 114.)

Abb. 119. Dreischiffige freistehende Fabrikhalle mit hoher Mittelhalle für Montagezwecke, die über seitlich angeordneten fahrbaren Konsolkranen noch zwei übereinanderliegende Laufkrane enthält. Das so erforderliche große Lichtprofil ist mit wenig ausgedehnten Konstruktionen umschlossen. Da hohe Last sich nur unter den inneren Füßen der Seitenhallenbinder findet, sind erstere allein durch feste Auflagerung zur Uebertragung des wagerechten Winddruckes in die Fundamente herangezogen, während die Füße an den Frontwänden (Eisenfachwerke) loses Auflager haben. Die Wände des Mittelbaues werden in den Binderebenen durch Kragstiele seitlich gehalten, deren Einspannungen an den Bindern in Höhe des Obergurtes einerseits

und des wagerechten Untergurtes anderseits bewirkt ist. Die Binder der Mittelhalle ruhen gleichfalls auf diesen Stielen auf, wobei erstere an den Füßen Verschraubungen mit Langschlitzlöchern aufweisen. Uebertragung wagerechten Winddruckes auf Windabseite ist nicht vorausgesetzt. Jedes Seitenportal ist somit für Winddruck an sich allein standfähig, was bei den auftretenden hohen lotrechten Lasten keinen besonderen Materialaufwand bedingt. Seitenbinder tragen am wagerechten Untergurt Laufkranträger; Galerie in etwa halber Breite der Seitenschiffe eingebaut.

Dreigelenkbinder.

Abb. 112. Binder für Ausstellungshalle von 46 m Lichtweite und 21,75 m lichter Höhe, mit vorgelegter Galerie auf jeder Seite. Seitenteile der Binder bis Erdgeschossfußboden herabgeführt, Kämpfergelenke liegen in den Fluchten der Innengurte, Scheitелgelenk muß wegen aufgesetzten großen Oberlichtes im Obergurt liegen. Letzterer vorwiegend, Innengurt durchweg von korbbogenartiger Linienführung, wobei Schwellung jeder Bogenhälfte nach der Mitte hin vorgesehen. Unmittelbar über dem gekrümmten Teil des Obergurtes liegt tonnenförmige Decke aus Drahtputz, mit Stüchkappen an die Bogenöffnungen der Galerie geführt, im mittleren Teil für Oberlicht ausgespart. Die von Frontwänden ausgehenden Dachflächen der Seitenteile enden am Oberlicht in breiten Galerien. Diese Dachflächen sind auf Knotenpunkten der Obergurte durch besondere Hilfskonstruktionen (Holz) abgestützt. Seitliche Versteifung der Knotenpunkte der Untergurte durch Gitterpfetten.

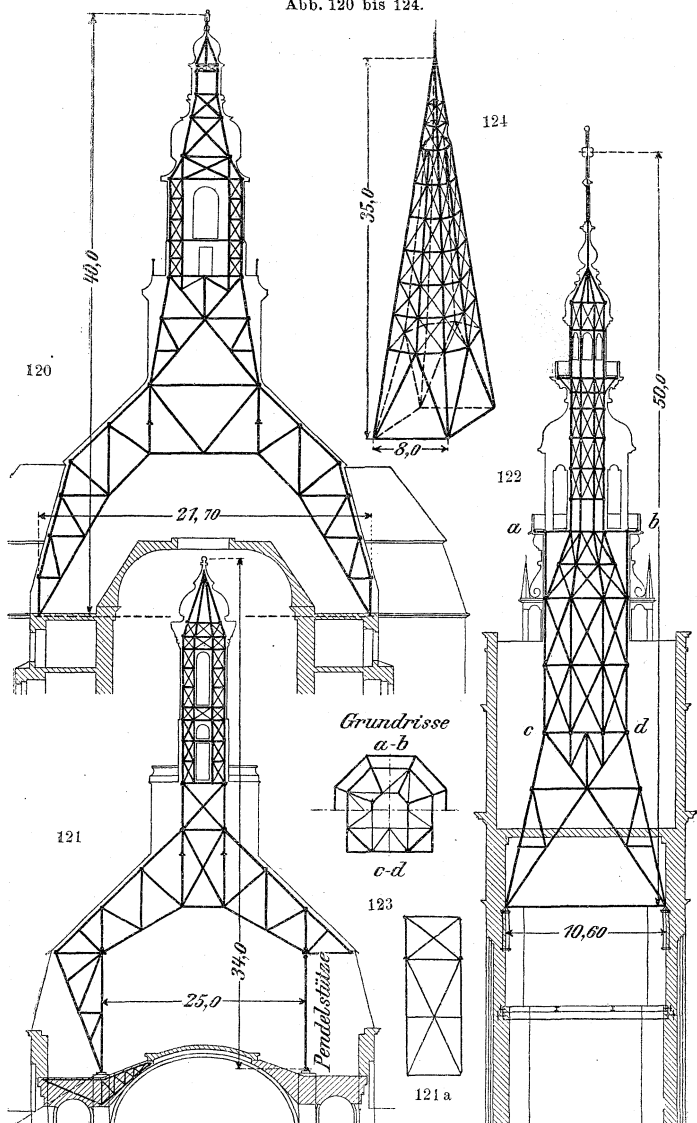
Abb. 112a zeigt, schwierigerer Durchbildung wegen, Anordnung des Scheitелgelenkes für Abb. 112 im Untergurt statt im Obergurt. Verwendung besonderer Formstücke als Gelenklager. Kämpfergelenk vgl. Zweigelenkbogen, Abb. 125a.

Abb. 113 (Entwurf Fried. Krupp, Düsseldorf 1902).*) Anordnung von Doppelbindern, Fachwerkbreite ohne Rücksicht auf Sparsamkeit des Materialverbrauches äußerst eingeschränkt. Lichteintritt hauptsächlich vom Dache her durch satteldachförmige Oberlichter, die quer zur Hauptachse liegen. Seitenteile der Binder ruhen mit Kugelpfennlagern auf Auflagerplatten und Betonfundamenten (Abb. 113a), um beim Fahren des 25 t-Laufkranes Beweglichkeit in der Längsachse herbeizuführen. Im Untergurt liegendes Scheitелgelenk aus zwei Gußstahlbacken gebildet (Abb. 113b), wobei eine mit abgerundeter Knagge in entsprechenden Ausschnitt der zweiten eintritt, um Verschiebungen entgegenzuwirken. Genügende geringe Beweglichkeit im Scheitелgelenk vorhanden.

Abb. 112b zeigt Ausführung eines oberen und unteren Scheitелpunktes, wobei sich beide Binderhälften in den Obergurten mittels gekrümmter gestalteter Druckplatten gegeneinander lehnen. Sicherung gegen Verschiebung in lotrechter Ebene bewirken doppelte, in den Knoten der Ober- und Untergurte eingeschaltete Führungsbleche, die an einer Binderhälfte fest vernietet, mit der anderen lose verschraubt sind. Führungsbleche mit quer gerichteten Langschlitzlöchern. Ähnliche Einrichtungen bei Vermeidung von Gelenkbolzen auch für die Kämpfergelenke ausführbar.

*) Vgl. Leitholf. Z. d. V. d. I. 1902.

Abb. 120 bis 124.



Zweigelenkbinder.

Abb. 111 (Ing. Biesold, Berlin.)*) Binder von 49,20 m Weite für Sporthalle. Mittlerer Teil ein Fachwerkbogen, der vom Scheitel aus nach beiden Seiten hin an Breite gewinnt. Drahtputzdecke im Untergurt, seitlich zur Frontwand in Höhe Hauptgesims stichbogenartig hinübergeleitet. Oeffnung der Decke in Breite der sechs mittleren Binderfelder für flaches, satteldachförmiges Oberlicht, welches für das dicht über dem Obergurt liegende, in geschwungener Linie verlaufende Mansarddach Firstabschluß bildet. Im Gegensatz zur Abb. 112 rücken hier die Seitenteile des Binders bis zur Frontwand (Eisenfachwerk) heran, um für Galeriebesucher Uebersichtlichkeit zu wahren. Um für die Galerien angemessene Oeffnungen in den Seitenteilen der Binder zu erzielen, sind letztere als genietete Blechrahmen ausgebildet.

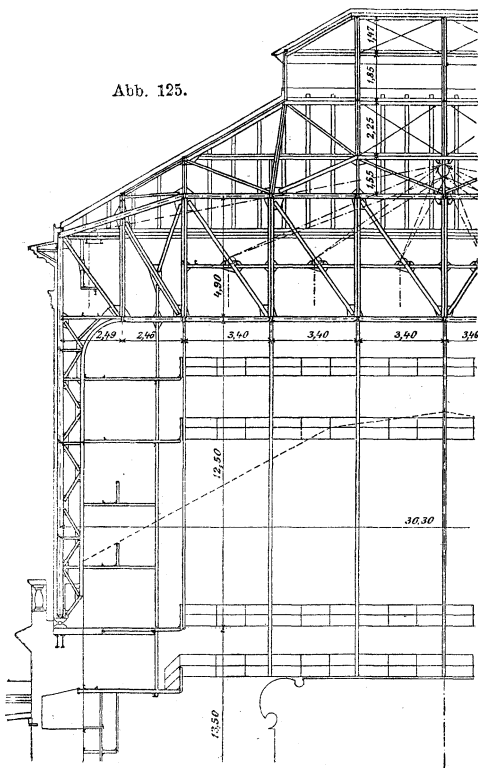


Abb. 125. Zweigelenkbinder für nachträgliche Erhöhung eines alten Bühnenhauses.**)

Binderstützweite 30,3 m, Höhe 17,4 m, Seitenteile 0,90 m breit, Mittelteil 4,90 m hoch mit wagerechtem Untergurt (Schnürbodenfußboden). Obergurt nur im mittleren Teil wagerecht, vom zweiten senkrechten Wandstab jeder Seite ab sich nach Hauptgesims hin verjüngend, stützt feuersichere Abschlusssdecke des Schnürbodens. In Breite des wagerechten Obergurtes ist zwischen beiden Gurten der Rollenboden eingebaut. Umrisslinien des Mittelteiles der gleich aus-

*) Z. d. B. 1911 Nr. 35.

**) Königl. Opernhaus, Berlin.

geführten Binder abhängig vom vorhandenen freien Raum bei den äußersten Bindern, die im Walm des zeltförmigen Daches liegen. Darum auf den Obergurten der mittleren Binder Aufbauten zur Abstützung des Daches und der Laterne erforderlich, auch der über den vier mittleren Binderfeldern errichtete Aufbau von 1,55 m Höhe, der in seinen Schrägseiten die Abschlufsdecke, in der oberen Parallelseite die Rauchklappe trägt. An zwei Hilfsknotenpunkten hängen die Seitengalerien, die sich gleichzeitig auf die Seitenteile der Binder stützen. Die unter dem Kämpfergelenk liegende, in ganzer Raumtiefe verlaufende Arbeitsgalerie nimmt wagerechten Gitterträger auf, der die Schübe der Binder in die Querwände des Bühnenhauses überträgt. (Letztere gleichfalls als Zweigelenkbogen ausgebildete, feuersicher umkleidete Fach-

Abb. 125 a.

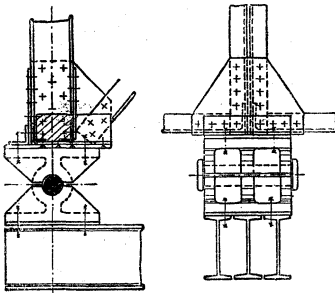


Abb. 126 a.

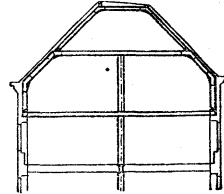


Abb. 126 b.

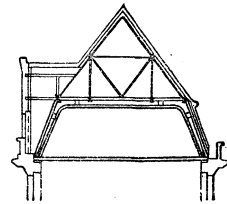
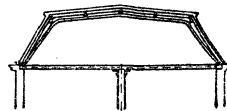


Abb. 126 c.



werkwände, die sich vom Bühnenkeller bis zum Hauptgesims über 40 m Höhe erstrecken.) Die Kämpfergelenke liegen unter dem äußeren Gurt der Seitenteile, die tragenden alten Mauerpfiler zentrisch belastend. An den fünf mittleren Knotenpunkten des Untergurtes hängen in den Galeriehöhen leichte Laufstege, die mit ihren Achsen in den Binderebenen liegen.

Abb. 125 a. Darstellung der Kämpfergelenke zu Abb. 125, Lager aus Gufseisen, Gelenkbolzen aus Stahl. Zweigelenkträger vrgl. auch Abb. 151.

Rahmendächer.

Abb. 126 a bis 126 c. Halbrahmen mit Fufsgelenken. Abb. 126 a. Oberer Rahmen stützt sich auf den Riegel des Rahmens des ausgebauten Dachgeschosses. Letzterer kann mit gelenkartiger Mittelstütze oder bei steifem oberen Anschluß der letzteren als Doppelrahmen konstruiert werden. Abb. 126 b. Zweigelenkrahmen mit aufgesetztem Fachwerkbinder für das obere Dachgeschoss. Abb. 126 c. Rahmen für Mansarddach, den vollen Dachraum freilassend. Vrgl. auch Abb. 131 bis 132 a und 151.

Räumliche Fachwerke.

Abb. 127 bis 130. Flache Schwedlerkuppel. Bei offenem Laternenring (ohne Diagonalen) und festen Auflagern (Aufnahme des Sparrenschubes durch Fufsring) stabil und statisch bestimmt, aber zur Aufnahme stark konzentrierter, einseitiger Belastung eintretender starker Formveränderung wegen weniger geeignet. (Die wirkliche Formveränderung bleibt hinter der theoretischen erheblich zurück, was in zu ungünstigen Lastannahmen und der größeren Steifigkeit der Knotenpunkte begründet

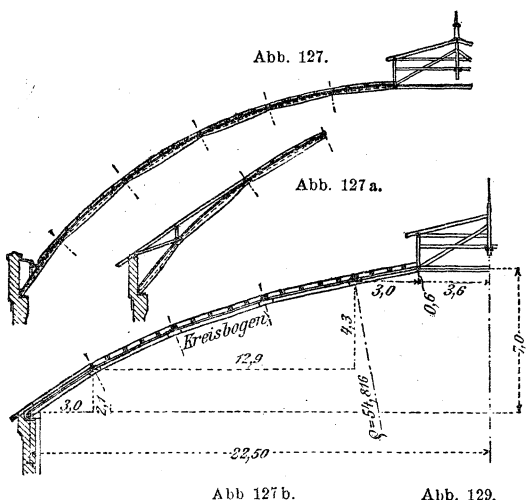


Abb. 128. Detail of a joint with dimensions 12.9, 3.0, 0.6, 3.0, 7.0, and 22.50.

ist — Blechlaschenknotenpunkte statt angenommener Kugelenke.)

Einschränkung der Formveränderung möglich, wenn der Laternenring als starre Scheibe ausgebildet wird, eine Anordnung, die den Nachteil hochgradiger statischer Unbestimmtheit bringt. Genaue Berechnungen derartiger Systeme werden in der Regel vermieden, indem die Spannungen nur für ein statisch bestimmtes System berechnet, mit Rücksicht auf tatsächlich günstigere Wirkung jedoch höhere Spannungen zugelassen werden.

Bei regelmäßigem Grundriss und gleichmäßig verteilter Belastung sind die Diagonalen spannungslos. Wird die Flachkuppel nach kubischer Parabel gekrümmt, so stehen bei vorheriger Voraussetzung nur Sparren und beide Schlufsringe unter Spannung. Diese

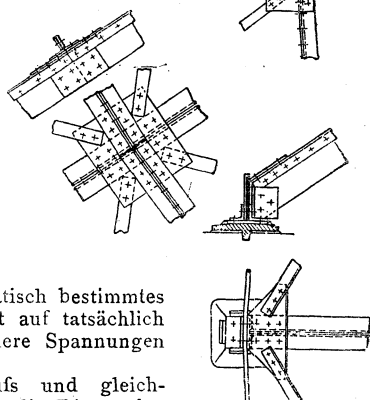


Abb. 130.

vorteilhafteste Form bringt den Nachteil, daß bei Pappdeckung die Neigung am Scheitel zu gering, am Umfang dagegen zu groß wird. Die zudem mit kubischer Parabel verbundene Ausführung eines schweren massiven Kranzgesimses mit innerer Kastenrinne (Abb. 127) wiegt auch die Mehrkosten des Eisens bei anderen Kuppelformen auf, welche die erwünschte Ausbildung von Traufen zulassen. Bei Beibehaltung steiler Sparrenfelder der Randfelder empfiehlt sich daneben gesonderte flachere Lage der Dachdeckung nach Abb. 127a.

Abb. 127b zeigt ein Beispiel, welches von der sparsamsten Form abweicht. Äußerer Dachrand rein kegelförmig, Uebergang in die Pyramidoidflächen der inneren Kuppel durch geringen Pfeil der Grenzpfetten erreicht. In den drei mittleren gleichlangen Feldern bildet der Sparren einen Kreisbogen, welcher tangential in das geradlinige oberste Sparrenfeld mit der Neigung 1:5 übergeht. Am äußeren Rande beträgt die Dachneigung 1:2 $\frac{1}{2}$. Lichter Durchmesser des Gebäudes 44,6 m, 28 Vorlagen und 28 Sparren des Kuppel-, 14 des Laternendaches. Durchmesser des Fußringes 45,0 m, des Scheitelringes 7,20 m, letzterer 7 m höher gelegen. Laterne 14seitig, Wände 2 m hoch. Dach als Traufe über Umfassungswand geführt, Rand mit Laufbohle und leichtem Geländer versehen.

Sonst allgemein Höhe der Kuppel $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{10}$, Durchmesser der Laterne $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{6}$ des Durchmessers D des Fußringes. Anzahl der Kuppelsparren möglichst einzuschränken, gegebenenfalls durch Gabelung in den Randfeldern oder Einschaltung von Zwischensystemen. Größte Entfernung dieser die Dachlast biegungsfest tragenden Stäbe abhängig von zulässiger Sparrenfreilänge (4,5, äußerst 5 m). Zahl der Hauptsparren gewöhnlich Vielfaches von vier, Laternendach mit halber Sparrenzahl. Querschnitte der Kuppelsparren aus zwei Winkelleisen mit Stegblech (Abb. 73), entweder mit stetig gekrümmter oder polygonaler Oberkante. Knicksicherheit der Sparren kommt wegen der steifen Dachhaut nicht zum Nachweis. Abstand der Ringe im Grundriß annähernd gleich, etwa $1,5 + \frac{1}{30}D$, Querschnitt aus zwei Winkelleisen, die mit zwei Schenkeln auf dem Sparrenrücken aufliegen. In allen Feldern gekreuzte Diagonalen aus Flach- oder Winkelleisen, Knotenpunkte Abb. 128 am Laternen-, Abb. 129 am Zwischenring und Abb. 130 Auflager ohne weiteres verständlich.

Bei Doppelpappe- oder Metalleindeckung für Eigengewicht 70, für zusätzliche Last 100 kg/qm Grundriß.

Abb. 131 u. 132. Eigenartige volle Rundkuppel für Kopfbau von Dreiviertel-Kreisgrundriß (Abb. 132), der vor langgestrecktem, von zwei Straßen begrenztem Geschäftsgebäude liegt. Gesamthöhe des Aufbaues über Hauptgesims 25,8 m. Oberer 18,5 m hoher Kuppelteil als Schwedlerkuppel durchgebildet, Bekrönung mit Fuß aus abgestumpfter 14seitiger Pyramide 1, 2, offener Ring bei 2, von 2 bis 3 Kuppelfläche von busiger Form, welcher die 14 Sparren folgen. Von da ab, in Höhe des Zwischengliedes 3, 4, wenden sich die Sparren nach innen und gewinnen Auflager auf kreisrundem Fußring in Höhe 4. In Zone 3, 4 liegen die Sparren somit in der Oberfläche eines umgekehrten abgestumpften Kegels. Der Fußring lagert auf den sechs Kopfpunkten eines regelmäßigen sechseitigen Portalaufbaues, der in

Abb. 131.

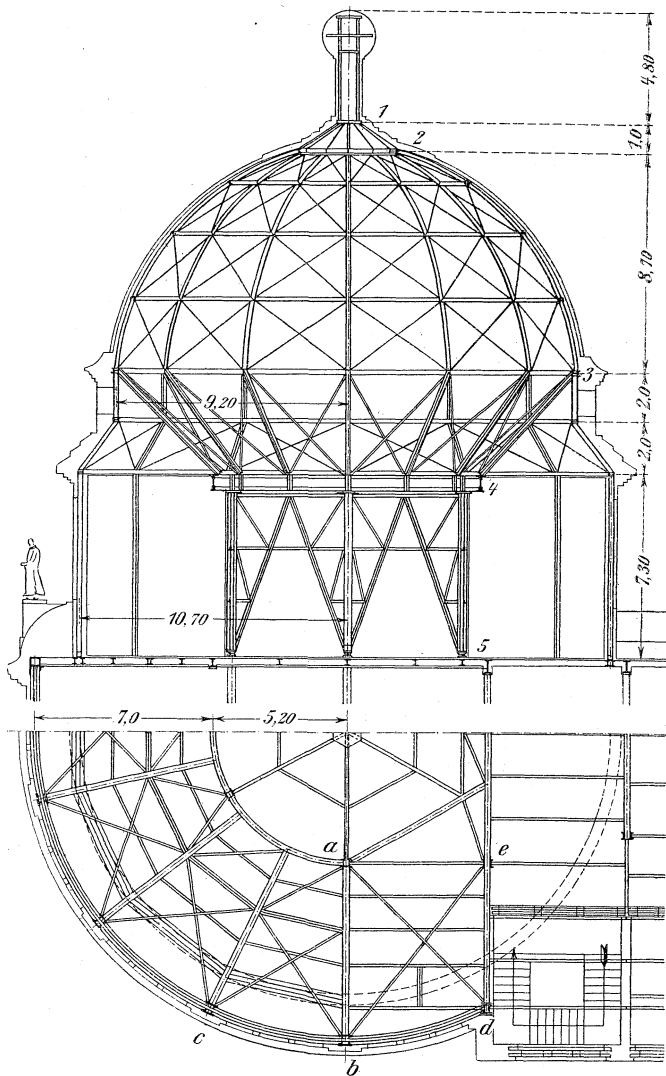


Abb. 132.

Höhe 4, 5 des Tambourgeschosses angeordnet ist. Die Fußpunkte seiner Pfosten stehen in Dachbodenhöhe 5 unmittelbar auf 4 Säulen *a* und zwei schräg liegenden Deckenunterzügen, die sich gleichfalls auf 2 Säulen *a* und weiterhin vermöge Deckenunterzuges auf 2 Säulen *e* stützen (Abb. 132). Halbkreisförmige Ringträger, von den Säulen *a* lotrecht gestützt, dienen als Auflager für radial verlegte Deckenunterzüge, die gleichzeitig auf eisernen Frontwandpfosten liegen. Die wagerechten Windlasten werden durch die mit ausreichenden Verbänden gesicherte Decke 5 in steife Reihenrahmen geleitet, welche mit Hilfe der Frontwandpfosten im Umfang des Rundbaues in ganzer Höhe der Frontwand errichtet sind, gleichzeitig in Gitterständer von gleicher Höhe bei *de*. Die aus Werkstein gebildeten leichten Front-

Abb. 132 a.

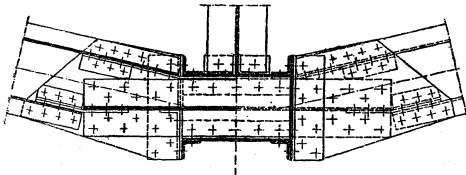
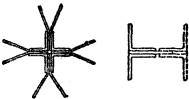


Abb. 132 c. Abb. 132 b.



wände des Rundteiles lehnen sich gegen die Pfosten, die mit den in allen Decken liegenden zugehörigen Riegeln *ab*, *bc* usw. fest eingespannt sind. Die zugehörigen Verbindungen sind dabei so angeordnet, daß

sie an keiner Stelle aus den Decken heraustreten. Grundrisse als Draufsicht und Querschnitt (Abb. 132a). Die Werksteinpfeiler, die an der Lastaufnahme nicht beteiligt sind, mit Pfosten durch Anker

verbunden, welche in lotrechter Ebene Federung oder geringe Drehung gestatten. Die Innenstützen *a*, welche bei Aufnahme wagerechter Windlast ausscheiden sollen, sind deshalb pendelnd ausgebildet.

Das Zwischenglied 3, 4 des Kuppelmantels wird durch auskragende Hilfskonstruktionen gegen das Haupttragwerk bei den Ringen 3 und 4 abgestützt. Die Tambourwand steht auf (2 I-Trägern) Deckenunterzügen und lehnt sich gleichzeitig gegen 14 Pfosten, die auf den radial verlegten Unterzügen der Decke 5 stehen und bei 4 nur wagerecht gehalten werden.

Die Kuppel des Reichstagsgebäudes in Berlin*) (Geh. Baurat Zimmermann), war so zu entwerfen, daß auf die an sich schwachen Mauern nur lotrechte oder in der Längsrichtung der Mauern wirkende wagerechte Kräfte übertragen werden. Dabei hat der über rechteckigem Raum (38,74 und 34,76 m äußere Seitenlänge der Mauern) errichtete Kuppelbau achtseitigen Fuß- und rechteckigen Kopfring, Stützung der 8 Eckpunkte des Fußringes auf den Umfassungswänden durch Stelzenlager mit Kippbolzen. Die Stelzen stehen parallel zu den betreffenden Mauern, zudem ist der Fußring in der Mitte der vier Wände noch derart gestützt, daß die Fußringstäbe in Richtung ihrer Achsen dort festgehalten, in der Querrichtung aber

*) Z. f. B. 1897.

beweglich sind. Hierdurch wird die geforderte Wirkung vom System (einfach und statisch bestimmt) erreicht.

Abb. 118, 118a u. 118b zeigen als Beispiel zu vorstehendem eine Rundkuppel mit hohem Laternenaufbau. Der Kopfring ist quadratisch, der Fußring ungleich achtseitig. Zur Aufnahme der Belastungen dienen die vier Wände von Treppenhäusern, die an den vier Frontwänden in den beiden Hauptachsen errichtet sind. Die in den Fußringecken erforderlichen 8 Lager sind, hier ausreichend, als Gleitlager auf sphärischer Unterlagsfläche ausgebildet (Abb. 118a), während die in den Hauptachsen liegenden Mitten der Fußringstäbe nach Abb. 118b mittels besonderer in die Treppenhausdecken einbetonierter Querriegel die wagerechten Windbelastungen in die Front- und inneren Ringwände in Richtung dieser Wände überleiten. Beweglichkeit dieser Stützpunkte in Querrichtung der Ringstäbe durch Langschlitzlöcher erreicht.

Die acht Gratsparren, zwei benachbarte schließen im Grundriss einen rechten Winkel ein, haben zwischen Kopf- und Fußring zwei Zwischenringe. Nur der quadratische Kopfring trägt aufsen eine aus vier gleichen Kreisabschnitten gebildete fachwerkartige Ergänzung, welche sich der Kuppelleibung anschließt. (Ein darüberliegender gleiches Ring von geringeren Querschnittsabmessungen ist mit dem Kopfring vergittert zwecks Abfangung der Eckstiele des Dachreiters.) Zwischenringe und Fußring sind gerade. Der obere Zwischenring besteht aus L-Eisen, in wagerechter Ebene durch Gitterwerk ausgesteift. Gleiche Anordnung besteht bei dem unteren Zwischenring, der aber mit Rücksicht auf erheblichere Freilänge gleichfalls aus Gitterwerk besteht. Bei beiden Ringen sind dabei die normalen Wandglieder bis nahe zur Dachhaut ausgekragt, wobei die freien Endigungen rund geschnittene Pfettenhölzer aufnehmen, auf der die gleichfalls rund geschnittenen Bohlenparren liegen, welche die Schalung tragen. Die im Kopfring angeordnete Diagonalversteifung gibt erwünschten Ueberschufs mit Bezug auf das im Dachreiter untergebrachte Geläut. Die acht Kuppelparren werden aus Fachwerken gebildet, wobei die Wandglieder des einen Sinnes zum bequemen Anschluß der Ringversteifungen wagerecht sind.

Beim Pavillon Schneider in Creuzot auf der Weltausstellung 1900 in Paris*) wurde die Kuppel aus 24 Dreigelenkbinderhälften gebildet, die ganz in der Mantelfläche lagen. Scheitelgelenk durch eine Kugel von 400 mm Durchmesser gebildet.

Für Kuppeln über quadratischen und rechteckigen Räumen werden wie bei Zeltdächern zwei sich kreuzende Binder in die Diagonalebene des Raumes gelegt. Beispiel hierfür Kuppel des Justizpalastes in München (Baurat v. Rieppel).** Auch findet sich bei solchen Grundrissen Anordnung von Bindern, die den Seiten des Grundrisses parallel verlegt sind und in gleicher Höhe liegen, so daß sich somit die Binder der einen Richtung mit denen der anderen durchdringen.

*) Vrgl. Génie civil Bd. I, Jahrg. 1900 S. 141.

**) D. B. 1897 S. 267, 284; Z. d. B. 1897 S. 350, 357.

Kuppel des Reichsgerichtsgebäudes in Leipzig (Baurat Cramer). Vrgl. auch Holzkonstruktionen S. 349.

Abb. 110 (Hülfskonstruktion für oberen Dachteil, die auf nachbeschriebenem Zeltdach aufsteht, hier nicht dargestellt. Ersterer hat die Form einer quadratischen Pyramide, deren Kanten gebrochen).

Zeltdach über quadratischem, mit abgeschrägten Ecken gebildetem Raume. Seitenlängen, an den Innenfluchten der Wände gemessen, 15,0 bzw. 2,70 m. Höhe des Zeltdaches (Mansardgeschosses) 5,50 m, Fußring aus einfachen Stäben, Kopfring aus leichten Blechträgern gebildet, die in wagerechter Ebene durch Gitterfüße versteift sind. Der zwischen Fuß- und Kopfring vorhandene Zwischenring wird in der Mitte der vier großen Flächen durch Mittelsparren seitlich versteift, dessen Fuß auf den Umfassungswänden und dessen Kopf am Kopfring gehalten wird. In allen Seitenflächen und der Kopffläche befinden sich vollständige Diagonalversteifungen. Da Fußring, in Kämpferhöhe eines freitragenden Gewölbes liegend, zur Aufnahme großer Schübe dient, ist mit größerer Formveränderung des Systems zu rechnen. Deshalb ist jeder der acht Binderfüße auf größere Zahl von frei beweglichen Stahlkugeln gestellt, wie sie für Ausbildung von Maschinenzapfenlagern im Handel sind; die Kugeln, 3 cm Dmr. haltend, sind in ihrer gegenseitigen Lage auf den Auflagerplatten durch die Maschen eines Drahtgeflechtes gesichert. Erst geraume Zeit nach dem Ausschalen und Setzen des Gewölbes wurden die Maueröffnungen der acht Stützpunkte geschlossen.

Abb. 117, 118, 120 u. 121. Dachreiter verschiedener Form. Sie stehen in der Regel nicht unmittelbar, vielmehr mittelbar durch zwei besonders verstärkte (Gitter-) Pfetten auf den Bindern. Zur Abfangung aller Stiel Füße dienen noch Pfettenwechsel. Zudem durchlaufender Kreuzverband zwischen den Obergurten und Querversteifungen in lotrechten Ebenen beider Pfetten erforderlich. Gratstiele in gleicher Zahl wie Mantelflächen, Ringe, so oft, daß vorhandene Neigung der Diagonalen angemessene Anschlüsse ermöglicht; Ringe möglichst auch da, wo Galerien, Pfetten der Hauptdächer usw. Unterstützung verlangen. Bei Galerieöffnungen müssen oft einzelne oder alle Felder einer Zone Diagonalkreuze entbehren, was im letzten Falle biegungsfeste Stiele und Ringe solcher Zonen voraussetzt. Dort erforderliche Querschnittsvermehrung der gewöhnlich aus 2 Winkeleisen bestehenden Stiel- und Ringquerschnitte durch Hinzufügung eines Stegbleches und zweier innerer Winkel (Abb. 132b). Steife Scheiben, also in wagerechter Ebene liegende Diagonalverstreben der Ringe liegen da, wo die Stiele ihre Richtung wechseln, auch in Höhe der Galeriefußböden. Bekrönungsstange gewöhnlich in der Spitze und in Fußringhöhe des Zeltdaches der Haube gehalten. Erstere dort am besten aus vier mit Abstand angeordneten Winkel (Quadrant-) eisen, in welche bei der Spitze abgebogene Bleche zum Anschluß der eisernen Sparren eingebracht werden (Abb. 132c). Oberer Teil der Stange aus Rund-eisen. Die Schalung (gewöhnlich Metall, selten Schiefer oder Ziegeldeckung) wird auf entsprechend profilierten Bohlenparren befestigt, die auf den eisernen Sparren- und Ringstücken gehalten werden. Biegungsberechnung der letzteren gewöhnlich nicht erforderlich. Bei

Berechnung der Dachreiter auf Winddruck gelten die Fußpunkte als fest eingespannt. Der Einfachheit halber begnügt man sich gewöhnlich mit dem Nachweis, daß schon zwei gegenüberliegende Flächen des eisernen Gerüsts den Winddruck in die Fußpunkte übertragen können. Vorstehende Regeln gelten auch für große Turmhelme, nur kommt hierbei genauere Windberechnung zur Geltung.

Abb. 122 u. 123. Turmhelm von quadratischer Grundfläche, Seite 10,60 m, Gesamthöhe 50 m. Die vier Fußpunkte liegen über halber Höhe der Glockenstube; unterer Schufs des Traggerüsts bis Ring *cd* hat die Form einer abgestumpften Pyramide von quadratischem Grundriss. Hierauf zwischen *cd* und *ab* weiterer, über *ab* engerer Schufs als regelmäsig achtseitiges Prisma. In der Zone unterhalb *ab* wird der erforderliche Uebergang des Gerüsts vom größeren zum geringeren Durchmesser durch abgestumpfte Pyramide bewirkt. Teil oberhalb *ab* hat zwei Zonen, die wegen der vorhandenen Galerien ohne Diagonalkreuze errichtet sind. Oberster Schufs (in der Haube) wieder als achtseitige Pyramide. Steife Scheiben bei *ab* und *cd* (Abb. 123).

Abb. 124. Turmhelm, sogen. Bischofsmütze. Grundriss des prismatoidischen Unterbaues quadratisch, Kopffläche regelmäsig achtseitig, Höhe des Unterbaues rd. 9 m. Auf letzteren sich setzendes 26 m hohes Traggerüst hat zunächst die Form einer regelmäsig achtseitigen, in den vier obersten Zonen einer quadratischen Pyramide. Zwischenböden am Fuß der Pyramide und von da ab im 2., 4. und 6. Ring. Die Grat- und Gabelsparren des Unterbaues und die Gratsparren der darüberliegenden 4 Zonen bestehen aus 2 Winkelleisen mit Stegblech (Abb. 73), darüber nur aus 2 Winkelleisen. Ringe aus je einem Winkel-, Diagonalen aus je einem Flacheisen, letzteres auch für den Fußring. Nutzlast der Zwischenböden 250 kg/qm.

Räumliches Fachwerk als Wasserturm vgl. Abb. 152 bis 154.

Kreuzverbände.

Fachwerkbinder werden in den Knotenpunkten der oberen Gurtungen paarweise durch Kreuzverbände verbunden. Sie wirken in Gemeinschaft mit ihren zugehörigen Pfetten (Steifen) und den Binderobergurten gegen Wind in der Längsachse des Gebäudes wie Gitterträger, wobei sie diese Windlasten in die Längsachse der Frontwände übertragen. Schon bei der Aufstellung der Binder ist rechtzeitiges Einziehen der Kreuzverbände notwendig.

Abb. 133.

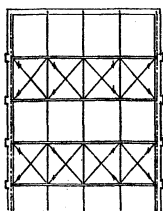


Abb. 133. Kreuzverband für einfachen Hallenbau. Erstes Feld am Giebel bleibt frei. Windverband im zweiten Felde vom Giebel und jedem zweitnächsten. Es ist auch zulässig, zwischen zwei Kreuzverbänden mehrere offen zu lassen. Im äußersten Falle befinden sich Kreuzverbände nur in den beiden vorletzten Binderfeldern nächst dem Giebel. Statische Berechnung der Kreuzverbände nur in besonderen Fällen üblich. Sind die Kreuze aus Flacheisen (50.7 bis 80.10 mm) oder

Winkleisen (65.65.7 bis 80.80.10), so macht man die Baulänge etwas zu kurz, wodurch das Einbringen der Diagonalen erst durch scharfes Dornen möglich wird. Besseres Aussehen wird durch Rundeisendiagonalen (Drm. 20 bis 26 mm) erzielt, die an ihren Endigungen (auch bei den Kreuzungspunkten) mittels Augen an den Anschlußblechen (einfache oder doppelte) verschraubt werden; jede Diagonale erhält dann ein Spannschloß (gewöhnlich Gasrohr) mit Links- und Rechtsgewinde. Kreuzverband in anderer Anordnung vrgl. Abb. 64.

Abb. 134. Pfette liegt auf Binderrücken, anschließende Diagonalen aus Flacheisen.

Abb. 135. Pfette mit Holzaufsattelung am Obergurt durch besondere Winkellaschen verschraubt, Diagonalen aus Rundeisen, Abb. 135a Pfette mit Hülfe eines Wandgliedes befestigt.

Abb. 136. Firstknotenpunkt, tiefliegende Pfette mit Holzaufsattelung, hochgestellte Pfette, Anschluß des Kreuzverbandes nach Abb. 137.

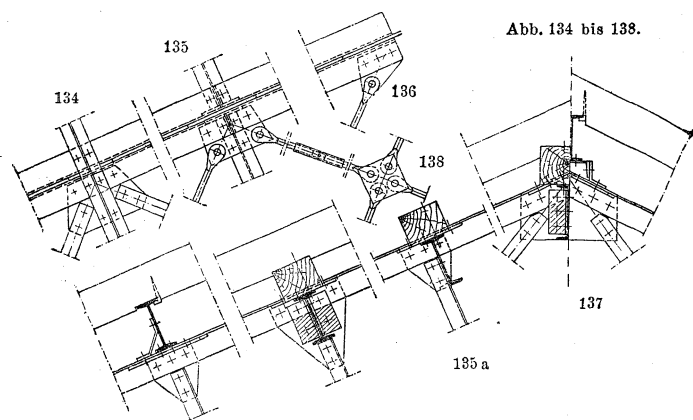


Abb. 138. Kreuzungspunkt von Rundeisendiagonalen, mit Hülfe von Doppellaschen hergestellt. Spannschloß aus Gasrohr.

Flacheisendiagonalen werden oft unter Vermeidung von Anschlußblechen unmittelbar auf den Binderrücken verschraubt.

Dehnfugen.

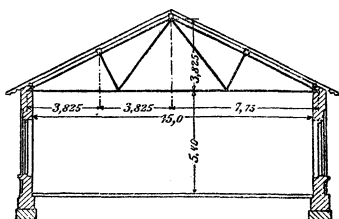
Bei zusammenhängenden Eisenkonstruktionen in Abständen von etwa 30 m anzuordnen. In der Längsrichtung der Gebäude wird von der Anlage einer Dehnfuge oft mit Recht abgesehen (vrgl. Pfetten, S. 374).

6. Zusammenhängende Eisenkonstruktionen.

Abb. 139 bis 145 einer einfachen Halle. Frontwände $1\frac{1}{2}$ St. stark mit inneren oder äußeren Mauervorlagen bei den Binderauflagern. Außere Vorlagen gewöhnlich mit Rücksicht auf künstlerische Durch-

bildung der Frontwände, innere Vorlagen wegen Störung bei Benutzung des Innenraumes nicht beliebt. Darum besser Wände von größerer Stärke (2 St. stark und mehr) und Hinweglassung der Vorlagen. Wind

Abb. 139.

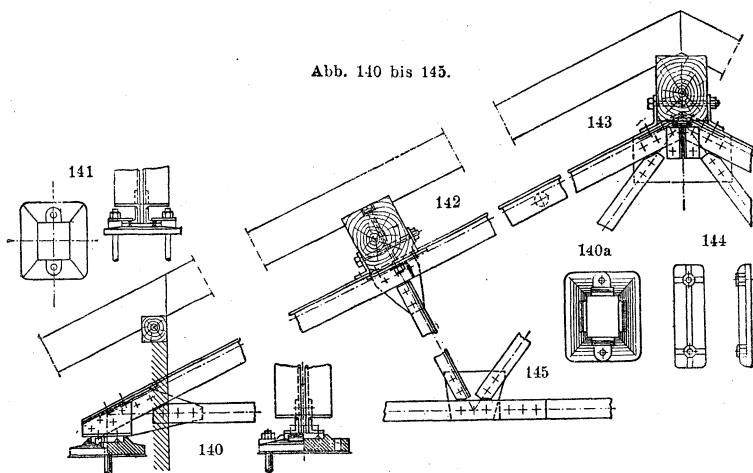


durch Binder in beide Frontwände zu übertragen, wenn sie durch Zwischen- und Giebelwände ungenügend ausgesteift sind. Beim Fehlen von aussteifenden Zwischenwänden werden in den Randfeldern des Daches als Notbehelf oft durchlaufende Windverbände (Ebene der Ober- oder Untergurte der Binder) angeordnet, die von Giebel- zu Giebelwand durchlaufen. Hierdurch wird seit-

liche Stützung der Wandköpfe ermöglicht.

Abb. 140 bis 145. Einzelheiten des zur Verwendung gekommenen Polonceaubinders, der hölzerne Pfetten aufweist. Sie werden auf dem Binderrücken und an Pfettenwinkeln verschraubt. Anordnung von

Abb. 140 bis 145.



Kreuzverbänden wird bei Einfügung besonderer eiserner Steifen möglich. Hier liegt unter der Mittelpfette Steife aus Winkeleisen (Abb. 142), unter der Firstpfette solche aus L-Eisen (Abb. 143). Auflagerungen nach Abb. 140 (140a) und 141 (vgl. Wandaufleger S. 362 und Tragwerke S. 374). Abb. 144 gußeiserne Ankerplatte. Abb. 145. Knotenpunkt des Untergurtes, wobei zweckmäßig der mittlere Stab nur aus einem Flacheisen besteht, welches mit den Doppelflacheisen der äußeren Stäbe unmittelbar verlascht wird.

Abb. 146 bis 148 zeigen Ausführung einer Eisenfachwerkwand, deren Pfosten bei 1 St. Stärke aus **I**(**C**) 26, bei $\frac{1}{2}$ St. aus **I**(**C**) 14 bis **I**(**C**) 16 gebildet werden. Bei Anordnung der Riegel ist die Möglichkeit guter Ausmauerung der Gefache zu berücksichtigen. Fußleiste aus Winkelisen in ganzer Länge der Frontwand durchlaufend. Abb. 148 zeigt Pfosten aus **I**-Eisen, wenn beiderseits volle Wände anschließen, Pfosten aus **C**-Eisen bei Tür- bzw. Fensteröffnungen, endlich einen

Abb. 147.

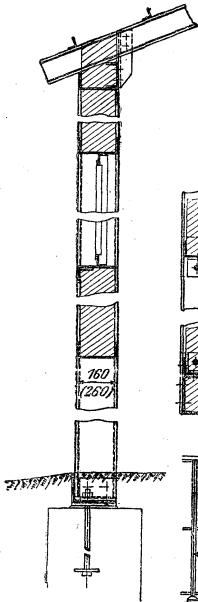


Abb. 148.

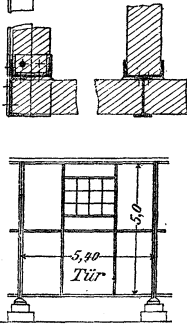


Abb. 146.

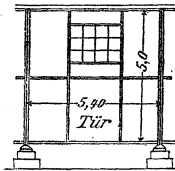
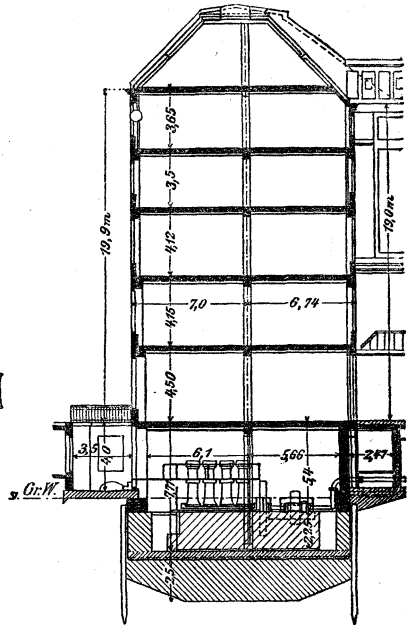


Abb. 149.



aus 2 **C**-Eisen gebildeten Eckstiel. Seitliche Standfähigkeit der Wände wird erzielt entweder durch ihre Anlehnung an standfähige Innenkonstruktionen oder durch Einspannung der Fußpunkte der Pfosten auf geeigneten Fundamenten (Abb. 51) oder durch Versteifung der Wandköpfe nach den Giebelwänden hin mit Hilfe besonderer, mit den Dachkonstruktionen zusammenhängender Windverbände.

Abb. 149. *) Querschnitt des Seitenflügels eines Geschäftshauses, welches für Aufnahme einer Dieselmotoranlage einen unter Hoffußboden

*) Vgl. D. B. 1908 Nr. 5/6 u. 8.

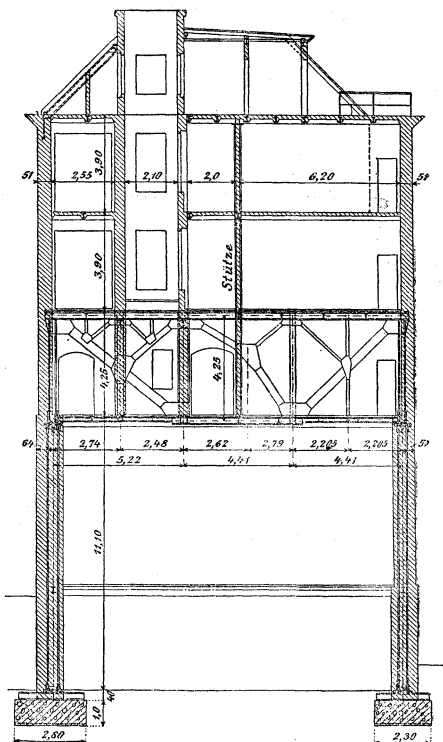
10,8 m tiefen Keller enthält. Grundwasserspiegel 6 m hoch über der Bausohle.

Ueber Ausführung der Abdichtung der Keller gegen Grundwasser vrgl. Mauerkonstruktionen S. 328. Die für die Abdichtung nötige Unterlage in der Kellersohle (Schüttbeton) zeigt behufs Aufnahme des Wasserauftriebes 2,5 m größte Stärke. Ausreichende Sicherheit tritt erst ein, wenn die Innensäulen auf gemeinsamen, der Frontwand parallel verlegten, genieteten Kastenträger gestellt werden, der die hohen Säulenlasten in ganzer Tiefe des Kellers auf die Sohlplatte verteilt.

Abb. 150. Saal im Erdgeschoss des Seitenschwings eines Hotelgebäudes. Die hohen Innenlasten der Stockwerke, die über dem Saalgeschoss liegen, werden in der Saaldecke nicht wie üblich durch Kastenunterzüge und Säulen aufgenommen, die den Raum stark beeinträchtigen, sondern durch Gitterträger, welche in den Scheidewänden in ganzer Höhe des 1. Stockes liegen. Unterstützung der Auflager mittels eiserner, in den Frontwandpfeilern verborgener Stützen. Ähnliche Aufgaben oft so gelöst, daß in Wänden verborgene Hängestangen die Lasten besonders starken Dachbindern zuführen.

Abb. 151 zeigt Lösung der bei Abb. 150 vorliegenden Aufgabe durch Errichtung von Zweigelenkbogen, welche das Gebäude in ganzer Weite überspannen. Aufnahme der Schübe durch die Unterzüge der Decke und des Fußbodens im Erdgeschoss. Saalbau erhält Rankonstruktion, die von Auslegerträgern getragen werden, die ihrerseits an den Zweigelenkbogen angeschlossen sind. Die beiden über dem Saalbau liegenden Stockwerke nehmen Bürozimmer auf, darüber

Abb. 150.



Dachboden. Ein im mittleren Teil des Gebäudes in den drei oberen Geschossen angeordneter Lichtschacht gibt Anlaß zur Ausbildung z. T. besonders geformter Halbrahmen.

Abb. 151.

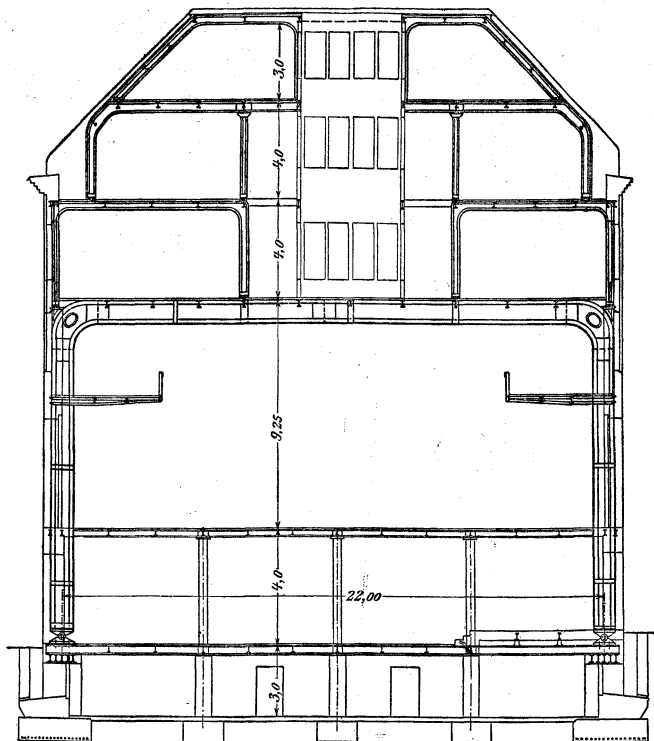
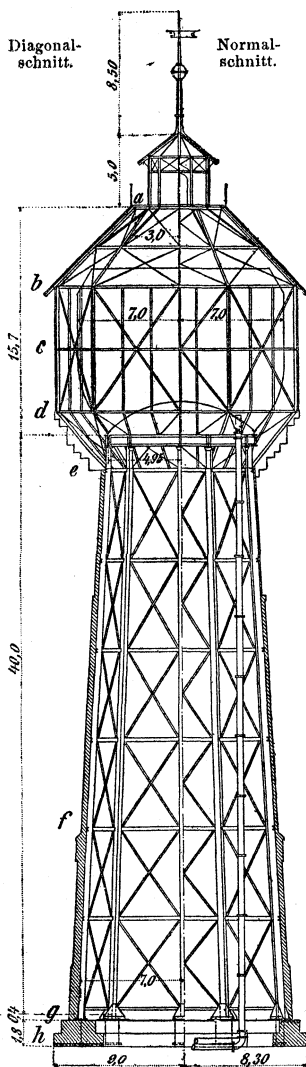


Abb. 152 bis 154. Wasserturm. Achtseitiges Zelt Dach mit Ziegeldachung stützt sich auf die Eckpfosten des achtseitigen Behälterumbaus. Wände des letzteren 6 cm stark aus Betoneisen, oder 6,5 cm stark aus Ziegeln mit Eisenbewehrung, lehnen sich gegen die Eckpfosten und zwei Zwischenpfosten eines jeden Feldes. Wasserbehälter (Intzescher Bauart) für 1500 cbm Inhalt wiegt 60 t. Er stützt sich auf einen kreisrunden, 0,80 m hohen Blechträger, welcher mit 8 Hülfspfosten auf dem Turmunterbau steht. Gegen Kopfring *e*, der als Tropfboden ausgebildet ist, stützt sich unmittelbar das auskragende Geschoß *de* des Umbaus. Vrgl. Kuppelbau Abb. 131.

Abb. 152.



Der Turmunterbau hat 8 Stiele aus kastenförmigem, offenem Querschnitt, die Ringe in den Geschosshöhen sind fachwerkartig. Die Umfassungswände, Mauerwerk mit Eiseneinlage, haben unten $1\frac{1}{2}$ St., oben $\frac{1}{2}$ St. Stärke. Sie lehnen sich gegen das Eisengerüst, mit letzterem durch leichte Anker verbunden.

Fundament aus eisenbe-
wehrtem Beton.

7. Türen, Tore und Fenster.

Nach Art und Material mit
Rücksicht auf klimatische Ein-

Abb. 153.

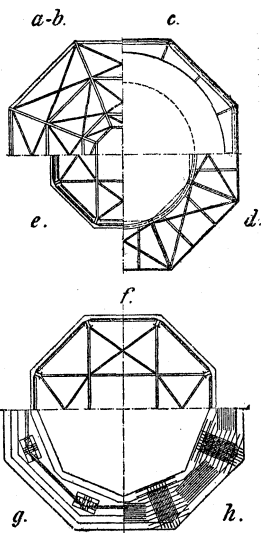


Abb. 154.

flüsse (Temperatur, Niederschläge, Wind) zu entwerfen. Gufseisen springt bei großem Temperaturwechsel leicht, widersteht jedoch sauren Dämpfen (in Gießereien, chemischen Fabriken) besser als Flußeisen. Dehnung des Eisens (1 mm für 1 lfd. m) Rechnung zu tragen, auch sonst angemessene Spielräume vorzusehen, besonders bei Türen im Falzschluß und, wenn zweiflügelig, im Mittelbruch. Für schnellen Ablauf von Wasser (Regen-, Tau- und Schmelzwasser) — auch wegen Gefährdung durch Eisbildung — ist zu sorgen. Alle Rahmen möglichst steif auszubilden, damit bei schnellen Bewegungen alle Teile möglichst gleichmäßig zum Anschlag kommen.

Türen und Tore.

Bekleidung des Eisengerippes mit Wellblech, auch mit gespundeten Brettern, die auf beiden Seiten Blechbeschlag erhalten. Guten Aussehens halber Bekleidung außen, Zwischenriegel und Verbände an der Innenseite. Diagonalen sind möglichst auf Zug zu beanspruchen. Für Schlupftür in großem Torflügel stets besonderer Rahmen erforderlich. Flügeltore für große Abmessungen weniger geeignet (40 kg/qm Gewicht), dort besser Schiebe- und Hubtore (20 bis 25 kg/qm).

Abb. 155a bis c Ansicht, Vertikal- und Querschnitt eines zweiflügeligen Schiebetores, 5 m breit, 6 m hoch, ein Flügel mit Schlupftür. Rahmen $\text{C } 10$, Zwischenriegel $\text{C } 6\frac{1}{2}$, Wellblech 30.30.1 mm. Aufhängung jedes Flügels durch zwei Differentialrollen auf Laufschiene (L 50.50.9) und Stüttschiene (L 90.90.12). Befestigung letzterer untereinander und der Stüttschiene an Frontwand in Langschlitzlöchern, um genaue Montage zu ermöglichen (Führung und Stützung aus nur einem Flacheisen weniger geeignet). Bei gewählten Differentialrollen wickelt sich Umfang auf Laufschiene, Rollenzapfen wickeln sich in Langschlitz der Torgehänge ab (keine Zapfenreibung), wodurch leichte Beweglichkeit der Flügel erreicht wird (Abb. 156a u. b). Untere Führung der Tore im Schlitz, der durch zwei in die Torschwelle eingelassene Winkeleisen gebildet wird.

Um bei Rollenbruch oder Ausspringen der Rollen ein Fallen der Flügel zu vermeiden, wird jeder durch zwei gebogene Hakenbleche (Abb. 157) gesichert. Verriegelungen möglichst einfach auszubilden.

Abb. 155b (4 Führungswinkel der Schubstange), Abb. 158a Hebelanordnung, Abb. 158b Verriegelung beider Flügel oben, Abb. 158c Flügel mit Schlagblech unten an Schlitzschiene verriegelt. Aufhängung derart einzurichten, daß lotrechte Schwerebene des Tores in die Mittelebene der Rollen fällt.

Fenster.

Fenster aus Gufseisen (Abb. 159a u. b) ermöglichen leicht reichere Formgebung, als Massenartikel (Herdgufs) billig. Festigkeit gegen Stöße beim Transport, Einsetzen usw. gering. Einfügung beweglicher Flügel von größeren Abmessungen erschwert (Scheibenabmessungen 20 bis 25 cm). Bei Scheiben aus Drahtglas (von 66 cm Breite an) nur Fenster aus Flußeisen. Bei letzteren Ausbesserungen und Ver-

Abb. 155.

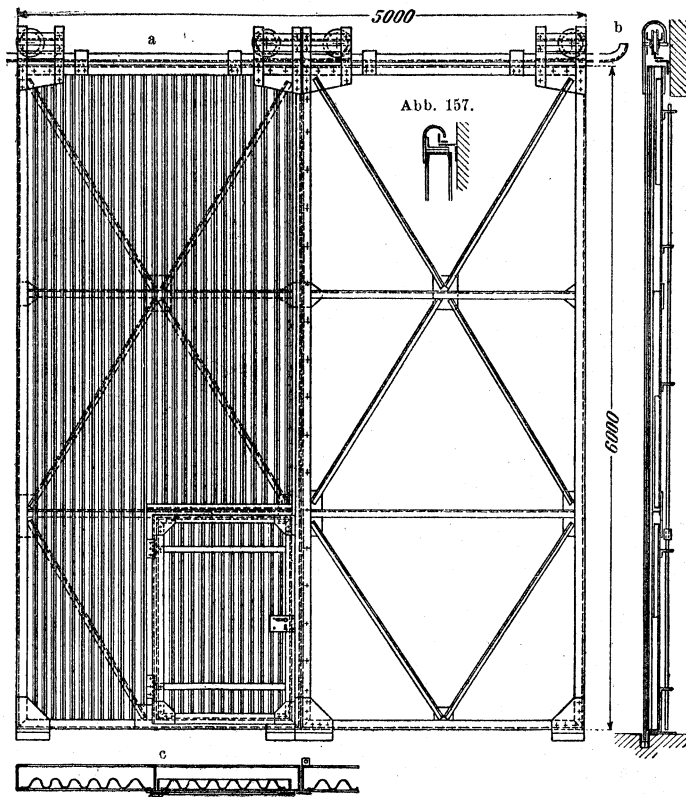


Abb. 158.

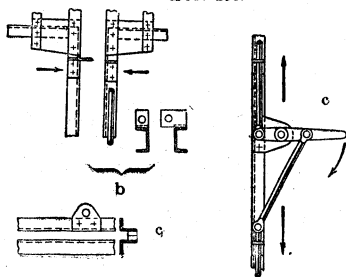
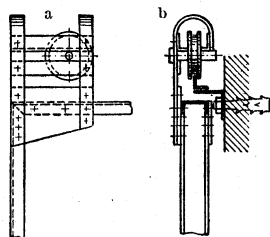


Abb. 156.



änderungen leicht möglich. Alle Fenster haben Unterlage für Kittfalz (Grundierung in Oelfarbe) in gleicher Ebene. Leicht zugängliche Fenster Kittfalz außen (Abb. 159a), sonst innen (Abb. 159b), was

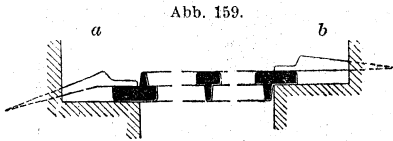


Abb. 159.

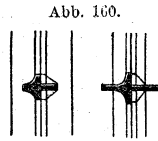


Abb. 160.

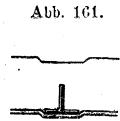


Abb. 161.

wegen Windgefahr oft Bohren von Splintlöchern in den Sprossenrippen und Verstiften nötig macht.

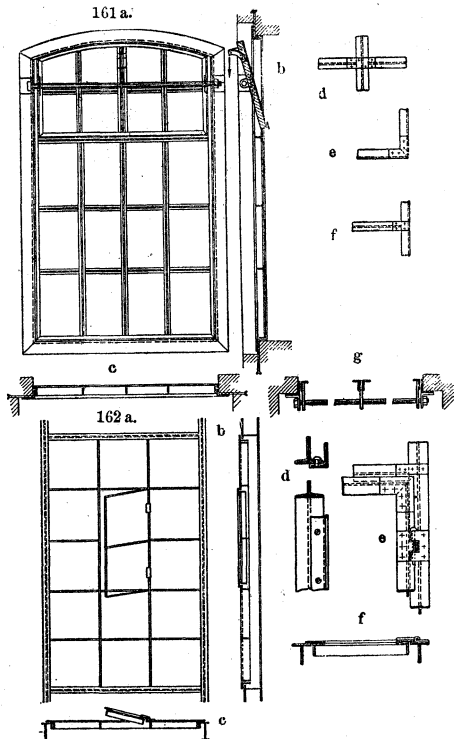
Fenster aus Flusseisen, bei kleineren Abmessungen aus Sprosseneisen (20 bis 25 mm hoch), die an den Kreuzungsstellen je in halber Höhe ausgeklinkt, bei größeren wird höhere Längssprosse ausgestanzt, um niedrigere Quersprosse durchstecken zu können (Abb. 160). Bei Sprossen aus I-Eisen wird entweder höhere Längssprosse an der Kreuzungsstelle gekröpft und dort zur Durchführung der Quersprosse ausgestanzt (Abb. 161), oder leichtere Quersprosse wird durch die Längssprossen unterbrochen, was Verlaschung notwendig macht (Abb. 161d). Ausgestanzte Kreuzungsstellen sind nach Zusammenfügen der Sprossen zu verstemmen.

Bei großen Fenstern werden Unterabteile

durch besondere feste Fensterkreuze (I- und L-Eisen) geschaffen.

Rahmen gewöhnlich aus halben Sprossen- oder Winkeleisen, mit welchen die Sprossen durch vernietete Zapfen verbunden. Liegen die

Abb. 161a bis g und Abb. 162a bis f.



Fenster in besonderen Blind- oder Futterrahmen, welche die inneren Mauerkanten der Fensteröffnung säumen, so wird Dichtigkeit durch Einlagen von Gummischnur oder geölten Filzstreifen (besondere Nut) erlangt. Zur Lüftung gewöhnlich oberer Fenster teil als Kippflügel ausgebildet, der um seine Unterkante oder in anderer Höhe liegende wagerechte Achse (Abb. 161a bis g) drehbar ist. Diese Darstellung zeigt Blind- und Futterrahmen aus Winkeleisen, Sprossen aus verlaschten **I**-Eisen (Abb. 161d).

Abb. 161f Verbindung der Sprossen mit Rahmen, Abb. 161e Rahmenecke. Drehachse des Kippflügels oberhalb wagerechter Schwerachse, wodurch Fenster selbständig schließt. Verbindung des Drehhebels mit Fensterkreuz (2 Winkeleisen) Abb. 161b u. g.

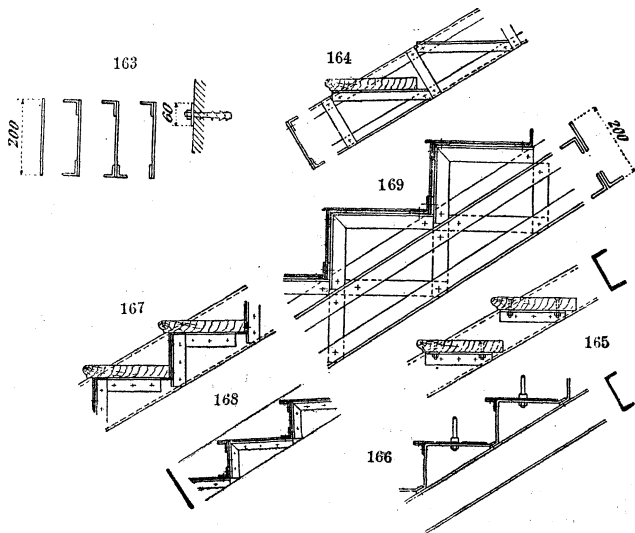
Abb. 162a bis f kleineres Fenster für Eisenfachwerkwand, wobei besonderer Blindrahmen überflüssig. Drehflügel um lotrechte Achse drehbar. Rahmen aus Winkeleisen, an **I**- und **C**-Pfosten verschraubt (Abb. 162d). Sprossen wieder aus verlaschten **I**-Eisen, Drehflügel vgl. Abb. 162e u. f.

Verglasungen vgl. Dachdeckungen, Glasdach S. 417.

8. Treppen.

Verwendung von Gußeisen nicht mehr üblich. Neigungsverhältnis der Treppenläufe nach der Regel, daß zwei Steigungen und ein Auf-

Abb. 163 bis 169.



tritt ≥ 63 cm. Ueblich $2.18 + 27$ cm. Die Stufenbauten bestehen entweder aus freitragenden Tritten (Abb. 164 bis 166), oder letztere

sind durch besondere Setzstufen gestützt (Abb. 167 bis 169). Trittstufen aus Holz oder geriffeltem Eisenblech, Setzstufen aus 3 mm starkem Blech. Die Stufen setzen sich auf die Wangenträger (Querschnitte Abb. 163) in aufgesattelter (Abb. 166 u. 169) oder eingeschobener Bauart. Wangenträger, Bleche von 200 mm Höhe und 3 bis 10 mm Stärke, bei größeren Stützweiten mit Winkel- und Flacheisen gesäumt; Wandwangen, die am Mauerwerk gestützt werden, sind nur 60 mm hoch.

Abb. 170.




Abb. 166 zeigt leichte Ausführung mit Auf-sattelung durch Stufendreiecke aus 60 mm breiten Flacheisen, Abb. 169 schwere Ausführung für Fabriken, Wangenträger dabei als Gitterträger ausgebildet.

Treppen ohne Setzstufen sind wenig steif.

Abb. 170. Wendeltreppe mit hohler Spindel und Wangenträger aus Flacheisen, mit Winkel-eisen gesäumt. Auftritt an der Spindelleibung nicht unter 10 cm, Stufenbreite bei notwendigen Treppen wenigstens 1 m, sonst 80 cm.

Bei allen Treppen Stützung der Wangenträger auf Wänden, Wechselln und Podestträgern.

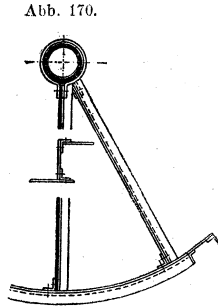


Abb. 170.

IV. DECKEN.

Uebliche Arten hölzerner und massiver Zwischendecken und ihre Eigengewichte aus dem Erlaß des preussischen Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 31. Januar 1910 entnommen (vgl. S. 408 bis 414).

Vrgl. auch amtliche Bestimmungen in Preußen für die Berechnung und Ausführung von Decken mit Eiseneinlagen vom 21. Januar und 30. Juni 1909. *)

Es sei bemerkt, daß die Massivdecken mit wagerechter unterer Begrenzung (Plattendecken) unterschieden werden in solche ohne und mit Eiseneinlage. Decken ersterer Art, gewöhnlich aus 10 cm starken vollen, porigen oder hohlen Deckensteinen gebildet, haben in der Regel bei 500 kg/qm Nutzlast bis 1,30 m zulässige Kappenweite (Trägerteilung). Besondere Ausführungen dieser Art die Förster-, Rheinische Formstein- und die Secura-decke (Abb. 25).

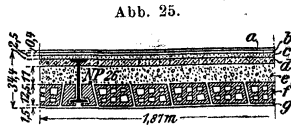
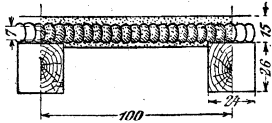
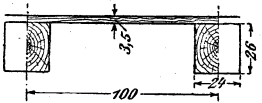
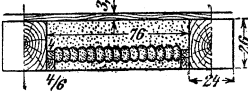
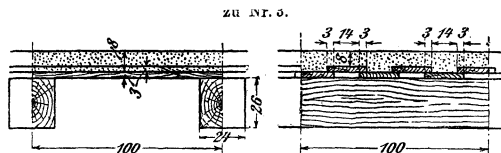


Abb. 25.

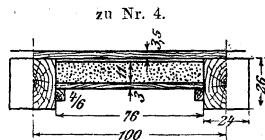
Für die besonderen Arten aller Steineisendecken sind die Voutenplatte Nr. 17 (S. 410, 411) und die Kleinesche Steindecke Nr. 18 (S. 411) vorbildlich gewesen.

*) Erschienen im Verlag von W. Ernst & Sohn, Berlin W., Wilhelmstr. 90.

Nr.	Benennung	Einzelteile	kg ¹⁾ kg ²⁾	Nr.	Benennung	Einzelteile	kg	kg
1. Zwischendecken. a) Holzbalkendecken.								
1	Balkenlage mit gestrecktem Windelboden darüber, unter Annahme einer Entfernung der Balken von 1 m von Mitte zu Mitte und einer Stärke derselben von 24/26 cm	Balken 24/26 cm st. 41 Schleetstangen 7 cm Durchm. 25 Lehm 160 zusammen 226	230	7	Balkenlage wie Nr. 5, jedoch oberhalb statt des Fußbodens mit einem 5 bis 7 cm starken Gips- oder Lehm-Estrich versehen	Balken 24/26 cm st. 41 Stakhölzer 3 cm st. 15 Latten 4/6 cm st. 3 Lehmschlag 11 cm stark 134 Schalung 2 cm st. 13 Estrich 7 cm st. 112 Rohrung und Putz 20 zusammen 338	340	
zu Nr. 1. 								
2	Balkenlage mit Fußboden von 3,5 cm Stärke darüber	Balken 24/26 cm st. 41 Dielen 3,5 cm st. 23 zusammen 64	70	8	Balkenlage mit ganzem Windelboden, unterhalb mit Lehm verstrichen, oberhalb mit 3,5 cm starkem Fußboden	Balken 24/26 cm st. 41 Dielen 3,5 cm st. 23 Stakhölzer 4 cm Durchm. 16 Latten 4/6 cm st. 3 Lehmschlageinschl. der Stakhölzer 26 cm st. 274 zusammen 357	360	
zu Nr. 2. 								
3	Balkenlage mit Stülpdecke und Lehmschlag	Balken 24/26 cm st. 41 Dielen 3 cm st. 20 Lehmschlag . . . 148 zusammen 209	210	b) Gewölbte Decken.				
				9	Preussische Kappen aus Hintermauerungssteinen bis zu 2 m Spannweite bei Abgleichung mit Koksasche und Holzfußboden	1/2 Stein starkes Gewölbe und Hintermauerung . . . 245 Hinterfüllung mit Koksasche bis zur Unterkante der Lagerhölzer . . 42 Lagerhölzer 10/10 cm st. bei 0,80 m Mittenabstand . 8 Dielen 3,5 cm st. 23 Deckenputz . . . 20 zusammen 338	340	
				zu Nr. 8. 				

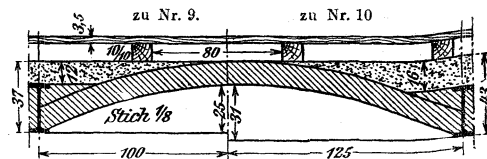


4	Balkenlage mit halbem Windelboden, bestehend aus Stakung mit Lehmstroh umwickelt oder aus Füllbrettern auf angelegelten Latten und aus Lehmschlag oder Sandschüttung, sowie einem 3,5 cm starken Fußboden darüber	Balken 24/26 cm st. 41 Stakhölzer 3 cm st. 15 Latten 4/6 cm st. 3 Dielen 3,5 cm st. 23 Lehmschlag 11 cm stark 134	zusammen 216	220
---	---	---	--------------	-----

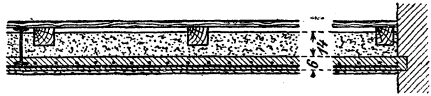


5	Balkenlage wie vor, jedoch an der unteren Seite mit 2 cm starker Schalung, gerohrt und geputzt	Balken 24/26 cm st. usw. wie zu Nr. 4 dazu Schalung 2 cm stark 13 Rohrung und Putz 20	zusammen 249	250
6	Balkenlage wie Nr. 4, jedoch oberhalb statt des Fußbodens mit einem 5 bis 7 cm starken Gips- oder Lehm-Estrich versehen	Balken usw. wie zu Nr. 4 216 ab die Dielen mit 23 bleiben 193 dazu Estrich 7 cm st. 112	zusammen 305	310

1) Eigengewicht für 1 qm im einzelnen. — 2) Eigengewicht für 1 qm im ganzen.



9a	Bei Abgleichung mit Sand statt mit Koksasche	340 + 50 =	390
	Bei Auffüllung bis zur Oberkante der Lagerhölzer:		
9b	mit Koksasche	340 + 65 =	410
9c	mit Sand	390 + 140 =	530
10	Preussische Kappen wie Nr. 9 für mehr als 2,00 bis zu 2,50 m Spannweite	Gewölbe und Hintermauerung Hinterfüllung mit Koksasche bis Unterkannte der Lagerhölzer Lagerhölzer wie Nr. 9 Dielen wie Nr. 9 Deckenputz	249 71 8 23 20
		zusammen	371
10a	Bei Abgleichung mit Sand statt mit Koksasche	370 + 90 =	460
	Bei Auffüllung bis zur Oberkante der Lagerhölzer:		
10b	mit Koksasche	370 + 65 =	440
10c	mit Sand	460 + 140 =	600
11	Preussische Kappen wie Nr. 9, jedoch aus Lochsteinen	Gewölbe und Hintermauerung Hinterfüllung mit Koksasche bis Unterkannte der Lagerhölzer Lagerhölzer wie Nr. 9 Dielen wie Nr. 9 Deckenputz	199 42 8 23 20
		zusammen	292
			290

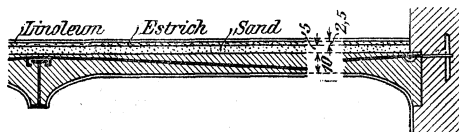
Nr.	Benennung	Einzelteile	kg	kg	Nr.	Benennung	Einzelteile	kg	kg
11a	Bei Abgleichung mit Sand statt mit Koksasche	290 + 50 =		340		c) Ebene Massivdecken			
	Bei Auffüllung bis zur Oberkante der Lagerhölzer:					Die Eigengewichte sind in jedem Falle zu ermitteln.			
11b	mit Koksasche	290 + 65 =		360		Nachstehende Beispiele sollen als Anhalt dienen.			
11c	mit Sand	340 + 140 =		480	16	Ebene Betondecke mit oder ohne Eiseneinlagen (Bauart Monier und ähnliche) bei Abgleichung mit Koksasche und Holzfußboden	Platte bei 6 cm Stärke einschl. etwa vorhandener Eiseneinlagen	144	
12	Preussische Kappen wie Nr. 10, jedoch aus Lochsteinen	Gewölbe und Hintermauerung . .	202				Ueberfüllung mit Koksasche, etwa 14 cm st.	98	
		Hinterfüllung mit Koksasche bis Unterkante der Lagerhölzer . .	71				Lagerhölzer 10/10 cm stark	8	
		Lagerhölzer wie Nr. 9	8				Dielen 3,5 cm st. . . .	23	
		Dielen wie Nr. 9 . . .	23				Deckenputz	20	
		Deckenputz	20				zusammen	293	290
		zusammen	324	320					
12a	Bei Abgleichung mit Sand statt mit Koksasche	320 + 90 =		410		zu Nr. 16.			
	Bei Auffüllung bis zur Oberkante der Lagerhölzer:								
12b	mit Koksasche	320 + 65 =		390					
12c	mit Sand	410 + 140 =		550					
13	Preussische Kappen wie Nr. 9, jedoch aus Schwemmsteinen oder porigen Lochsteinen	Gewölbe und Hintermauerung . .	153		16a	Bei Abgleichung mit Sand statt mit Koksasche	295 + 125 =		420
		Hinterfüllung mit Koksasche bis Unterkante der Lagerhölzer . .	42		16b	Für jedes cm Mehrstärke der Platte	Mehrgewicht		23
		Lagerhölzer wie Nr. 9	8						
		Dielen wie Nr. 9 . . .	23		17	Ebene eingespannte Eisenbetondecke mit voutenförmigen Verstärkungen an den Auflagern (Koenensche Voutenplatte und	Platte bei 10 cm Stärke einschl. Eiseneinlagen u. Voutenanschlüssen		270
		Deckenputz	20						
		zusammen	246	250					

	mit Koksasche	250 + 50 =	300	
	Bei Auffüllung bis zur Oberkante der Lagerhölzer:			
13 b	mit Koksasche	245 + 65 =	310	
13 c	mit Sand	300 + 140 =	440	
14	Preussische Kappen wie Nr. 10, jedoch aus Schwemmsteinen			
	Gewölbe und Hintermauerung . .	155		
	Hinterfüllung mit Koksasche bis Unterkante der Lagerhölzer . .	71		
	Lagerhölzer wie Nr. 9 . . .	8		
	Dielen wie Nr. 9 . .	23		
	Deckenputz . . .	20		
	zusammen	277	280	
14 a	Bei Abgleichung mit Sand statt mit Koksasche	280 + 90 =	370	18
	Bei Auffüllung bis zur Oberkante der Lagerhölzer:			
14 b	mit Koksasche	280 + 65 =	350	
14 c	mit Sand	370 + 140 =	510	
15	Decke in Gewölbeform aus Zement-Kiesbeton bis zu 1,50 m Spannweite, sonst wie Nr. 9			
	Kiesbeton	220		
	Hinterfüllung mit Koksasche bis Unterkante der Lagerhölzer . .	53		
	Lagerhölzer wie Nr. 9 . . .	8		
	Dielen wie Nr. 9 . .	23		
	Deckenputz . . .	20		
	zusammen	324	320	
15 a	Bei Abgleichung mit Sand statt mit Koksasche	320 + 70 =	390	
	Bei Auffüllung bis zur Oberkante der Lagerhölzer:			
15 b	mit Koksasche	320 + 65 =	390	
15 c	mit Sand	390 + 140 =	530	

Sandüberfüllung und Lino-leumbelag auf Estrich

5 cm stark . . .	80
Estrich 2,5 cm st. .	55
Linoleum 4 mm st. .	5
Deckenputz . . .	20
zusammen	430

zu Nr. 17.




Ebene Ziegeldecke mit Eisen-einlagen (Bauart Kleine und ähnliche) aus Schwemmsteinen in Zementmörtel, mit Ueberfüllung von Koksasche und Holzfußboden

Deckenplatte aus Schwemmsteinen 12 cm st. einschl. der 1/35 mm st. Bandeisen-einlag.	125
Ueberfüllung mit Koksasche 10 cm stark	70
Lagerhölzer 10/10 cm stark . . .	8
Dielen 3,5 cm st. .	23
Deckenputz . . .	20
zusammen	246

zu Nr. 18.



Nr.	Benennung	Einzelteile	kg	kg	Nr.	Benennung	Einzelteile	kg	kg
18 a	Bei Ueberfüllung mit Sand statt mit Koksasche	250 + 90 =		340	22	Ebene Ziegeldecke ohne Eisen- einlagen (Bauart Förster und ähnliche) aus porigen Hohl- steinen mit quer zur Träger- richtung verlegten, einander stützenden Ziegelreihen, 10 cm stark, einschl. Ueberfüllung mit Koksasche und Holzfuß- boden	Platte aus porigen Hohlsteinen in Kalkzementmörtel 10 cm stark . . . Ueberfüllung mit Koksasche 10 cm stark Lagerhölzer 10/10 cm stark Dielen 3,5 cm st. . Deckenputz . . . zusammen	100 70 8 23 20 221	220
19	Ebene Ziegeldecke mit Eisen- einlagen wie vor, jedoch aus porigen Hohlsteinen, bei Auf- lagerung der Platte auf Beton- konsolen, einschl. Ueber- füllung mit Kohlenschlacken- beton und Linoleumbelag auf Estrich (die Träger sind hier- bei mit Kiesbeton zu um- manteln)	Deckenplatte 10 cm stark, aus porigen Hohlsteinen in Zementmörtel einschließl. der 1/35 mm st. Band- eisen- einlagen u. der konsolartigen Auflager Ueberfüllung mit Kohlenschlacken- beton 5 cm st. . Estrich 2 cm st. . Linoleum 4 mm st. Deckenputz . . . zusammen	115 50 44 5 20 234	230	zu Nr. 22.				
zu Nr. 19.									
19 a	Für jedes cm Mehrstärke der Platte	Mehrgewicht . . .		10	22 a	Für jedes cm Mehrstärke der Platte	Mehrgewicht . . .		10
20	Ebene Ziegeldecke mit Eisen- einlagen aus vollen Hartbrand-	Platte aus Hart- brandsteinen in			22 b	Bei Ueberfüllung mit Sand statt mit Koksasche	220 + 90 =		310
					23	Ebene Ziegeldecke ohne Eisen- einlagen (Securadecke und ähnliche) aus porigen Hohl- steinen und schrägem, paralle- lem oder zentralem Fugen- schnitt, gewölbartig wirkend, 13 cm st., bei Abzileichung	Platte aus porigen Hohlsteinen in Zementmörtel 13 cm stark Ueberfüllung mit Koksasche 10 cm	142	

und Fliesenbelag (für Durchfahrten und befahrbare Hofkeller)

mm st. Eiseneinlagen. . . .	220
Magerer Beton 10 cm stark	190
Fliesen in Zementmörtelbettung 6 cm stark	126
zusammen	536

540

zu Nr. 20.



21 Ebene Ziegeldecke wie vor, jedoch $\frac{1}{4}$ Stein st. (als unbelastete Decke ohne Ueberfüllung und Fußboden)

Platte aus Hintermauerungssteinen in Zementmörtel einschl. der $\frac{1}{25}$ mm st. Eiseneinlagen.	106
Deckenputz	20
zusammen	126

130

zu Nr. 21.



boden

cm stark	8
Dielen 3,5 cm st. . . .	23
Deckenputz	20
zusammen	263

260

zu Nr. 23.



23 a Bei Ueberfüllung mit Sand statt mit Koksasche

$$260 + 90 =$$

350

24 Ebene Ziegeldecke wie vor, jedoch 17 cm st., mit Fliesenbelag in Zementmörtel oder Terrazzofußboden

Deckenplatte aus porigen Hohlsteinen in Zementmörtel 17 cm stark

179

Fliesenbelag oder Terrazzofußboden

60

Deckenputz

20

zusammen

259

260

zu Nr. 24.



24 a Dieselbe bei 22 cm starker Platte

$$260 + 40 =$$

300

Abb. 26 Westphalsche Decke aus quadratischen Hohlziegeln mit kreuzweiser Eisenbewehrung und aufbetonierter Druckschicht zur Ueber-
spannung ganzer Räume.

Abb. 27 gleichartige Stegsteindecke von Höfchen & Peschke.
Decken von weiter Spannung weiterhin:

Abb. 28 u. 29 Kohlmetzdecke, bei welcher stärkere Eiseneinlagen
— niedrige Gitterträger aus Winkel- und Flacheisen — das Anhängen
der Schalung und die Aufnahme der Baulasten gestatten.

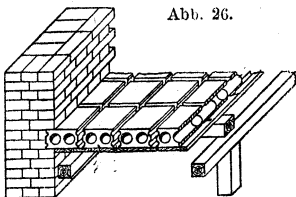


Abb. 26.

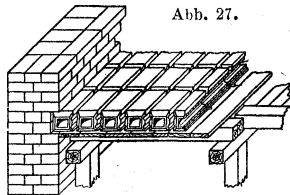


Abb. 27.

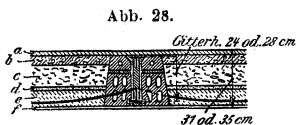


Abb. 28.



Abb. 29.

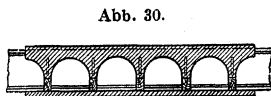


Abb. 30.

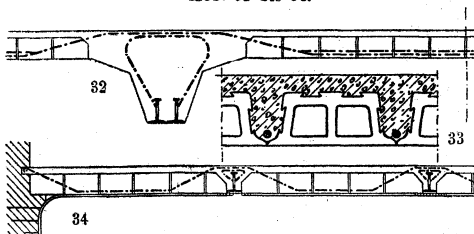


Abb. 31.

Abb. 30 u 31 Koenensche Plandecke aus Beton, welche für zahl-
reiche Arten auch aus Ziegeln gebildeter Stegdecken vorbildlich. Die

Hohlräume dienen zur Dämpfung des Schalles, Wärmehaltung und Verminderung des Deckengewichtes. Bei den Betonstegdecken werden die Hohlräume häufig aus Rohrzellen, das sind aus Brett- oder Lattenleeren und daran befestigtem Rohrgewebe ge-

Abb. 32 bis 34.



bildete, auch durch Betonhohlkörper (Zylinderstegdecken) gebildet.

Die Siegwart-Balkendecke besteht aus fabrikmäßig hergestellten, im Bau einfach nebeneinander zu verlegenden hohlen Eisenbetonbalken.

Bauart Pohlmann. Die Balken erhalten als Einlagen die sogen. Bulbeisen, welche gleichen Nebenzwecken dienen wie die Gitterträger

bei Abb. 29 u. 30. Platten zwischen den Balken aus Beton mit Eiseneinlage in Art der Voutenplatte. Neuerdings auch aus porösen Hohlsteinen mit Druckzone aus Beton und Eiseneinlage in den Stegen (Abb. 32 bis 34). Die Stege der Bulbeisen haben Löcher zur Einbringung von Schlingen, die zur Aufnahme von Schubspannungen dienen.

V. DACHEINDECKUNGEN.

Arten und Gewichte der Dachdeckungen wieder aus der unter IV. Decken angeführten Verordnung entnommen (s. S. 418 bis 421).

Zur näheren Erläuterung der in der Verordnung angeführten Deckungsarten dient nachfolgendes:

Abb. 28 Aufsicht der Firsteindeckung zu 1 der Verordnung.

Abb. 28a u. 29 dsgl. Traufe, wobei Reiheneindeckung nach Abb. 29 vorzuziehen ist, weil Wasser mehr in der Steinmitte abfließt und die Fuge weniger auswäscht. Holzspießse vorteilhaft zu imprägnieren, besser Streifen aus Dachpappe zu verwenden. Diese Deckung nur für untergeordnete Gebäude geeignet.

Abb. 30 First, Abb. 30a Traufe zu 2.

Abb. 31 First, Abb. 31a Traufe zu 3 (auch Ritterdach genannt).

Abb. 32 Aufsicht zu 4.

Abb. 33 Ziegel zu 7.

Abb. 34 u. 34a Aufsicht und Schnitt zu 8.

Abb. 35 u. 35a Aufsicht und Schnitt zu 11.

Abb. 36 u. 36a Aufsicht und Firstschnitt zu 13.

Abb. 37 bis 37e Schnitte zu 15 und 16. Falzungen nach Abb. 37, 37b u. 37e besonders empfehlenswert.

Abb. 38 Teerpappdach, Bahnen parallel der Traufe, Abb. 38a Stofs einer Lage. Abb. 39 Teerpappdach, Bahnen senkrecht zur Traufe (Leistendeckung), Anordnung besonderer Deckkappe nach Abb. 39a vorzuziehen.

Abb. 40 Anschluß des Pappdaches an Wände durch Zinkblech, Abb. 40a dsgl. mit besonderer Kehlleiste (bessere Anordnung).

Abb. 41 Schnitt zu 21 mit Rinnenanordnung, Abb. 41a Anordnung der Pappbahnen zu 21.

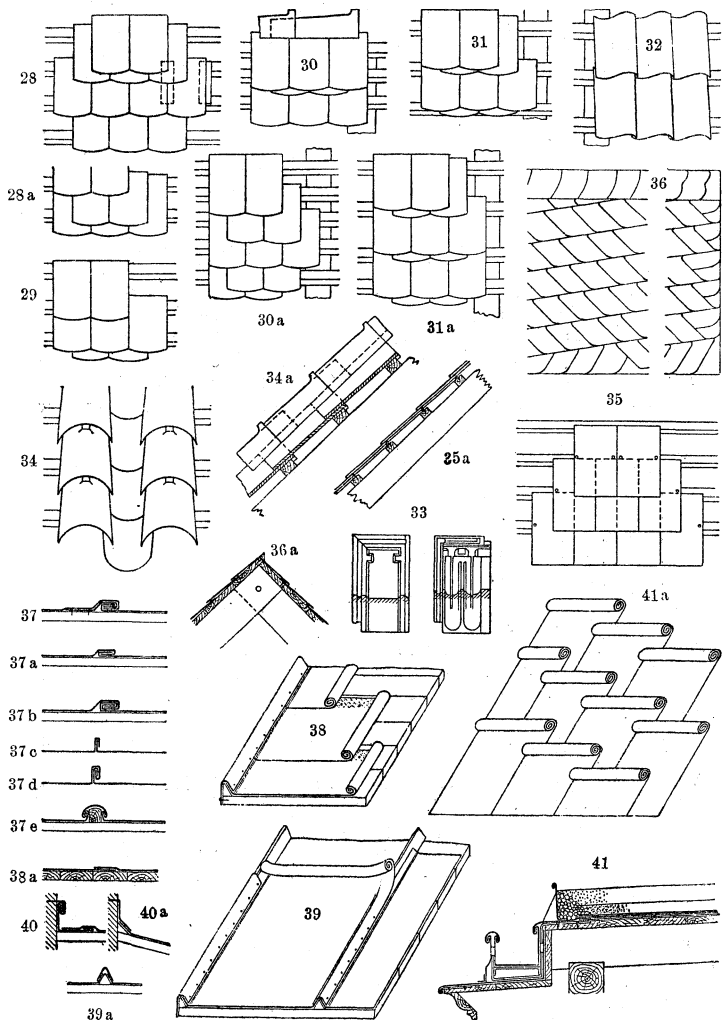
Verglasungen.

Glassorte	Geblasenes Glas			Gegossenes Glas							
Stärke . . . mm	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Sparsenweite . cm	35	45	55	60	70	75	80	85	90	95	

Gangbare Sorten des gegossenen Glases 1,5 qm, äußerst 2 qm Fläche.

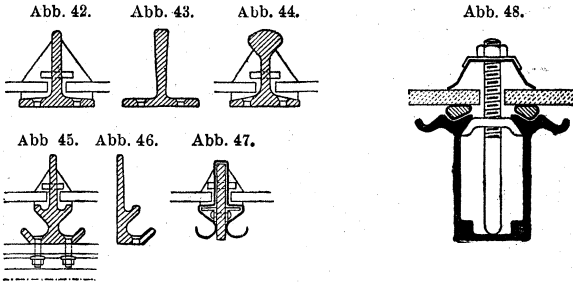
Feuersicheres Drahtglas bei 6 bis 8 mm Stärke 66, 69, 72, 75 (bis äußerst 81) cm Tafelbreite und 3 qm größter Fläche.

Abb. 28 bis 41.



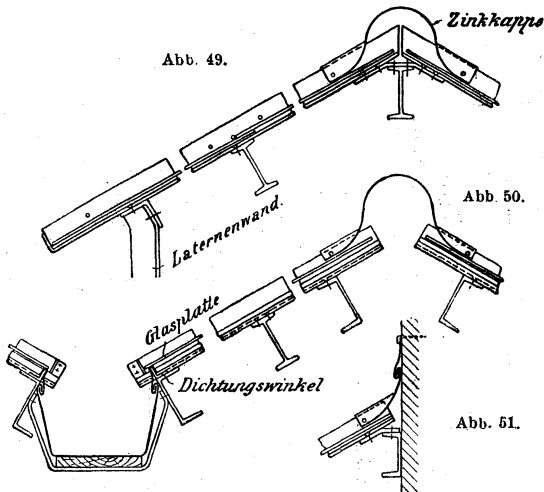
Sprosseneisen nach Abb. 42 einfache **L**-Sprosse, Abb. 43 Mannstaedt-**L**-Sprosse, Abb. 44 Sprosse aus Grubenschiene und die für Ab-

leitung von Niederschlagwasser (Folge von Undichtigkeit) und Schweißwasser mit Rinnen versehenen ganzen und halben Mannstaedtsprossen Abb. 45 u. 46. Abb. 47 genietetes Sprosseneisen mit Zinkmantel, der Abwasserrinnen enthält. Zur Ableitung des Schwitzwassers unterer


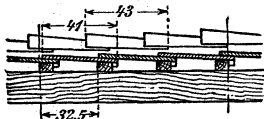


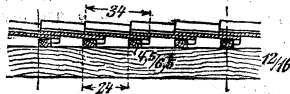
Rand des in der Dachfläche liegenden Scheibenstosfes schräg zur Seitenkante der Tafeln zu schneiden (1:20).

Kittlose Verglasungen in zahlreichen Ausführungen. Als Beispiel gibt Abb. 48 diejenige der Akt.-Ges. Vulkan, Köln-Ehrenfeld, wobei



die Bolzen (diese und die Muttern aus Messing oder Eisen) durch Brücke aus Temperguß in der Sprosse (mit oder ohne Schweißwasser-rinne) gehalten. Zwischen Mutter und Deckschiene (verzinktem Blech)

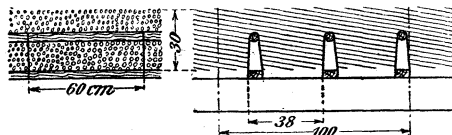
Nr.	Benennung	Einzelteile	kg ¹⁾	kg ²⁾	Nr.	Benennung	Einzelteile	kg	kg
	(Für 1 qm Dachfläche, in der Neigungslinie, nicht in der horizontalen Projektion gemessen.)								
1	Einfaches Ziegeldach aus Biber- schwänzen von Normalform, einschl. Lattung und Sparren (Spließdach)	Sparren 12/16 cm st., in 1 m Mittlen- abstand	13	8		zu Nr. 7.	Falzziegel 15 Stück/qm je 40.20 cm	42	
	zu Nr. 1.	Latten 4,5/6,5 cm st. Dachsteine (35 Stück/qm je 36,5.15,5.12 cm)	49				Mörtel zum Ver- strich	3	
		Mörtel	3		8	Mönch- und Nonnendach ein- schließl. Lattung usw. wie Nr. 1	zusammen	63	65
		Spliefse	1			zu Nr. 8.	Sparren 12/16 cm st.	13	
		zusammen	74	75			Latten 4,5/6,5 cm st.	5	
1a	Dasselbe, aber böhmisch gedeckt in voller Mörtelbettung	Mehrgewicht für Mörtel	10				16 Mönche je 43 cm lang u. 16 Nonnen je 41 cm lang . .	66	
2	Doppeldach wie Nr. 1.	dann zusammen	85		8a	Dasselbe böhmisch gedeckt . .	Mörtel	17	
	zu Nr. 2.	Sparren 12/16 cm st.	13				zusammen	101	100
		Latten 4,5/6,5 cm st.	11				Mehrgew. für Mörtel	15	
		Dachsteine, 45 Stck. auf 1 qm	63		9	Mönch- und Nonnendach, ein- schließl. wie vor, aber Mönch und Nonne aus einem Stück (für 1 qm 15 Steine 42 cm lang, 20 cm breit, sicht- bar nach der Eindeckung)	dann zusammen	115	
		Mörtel	6				Sparren 12/16 cm st.	13	
		zusammen	93	95			Latten 4,5/6,5 cm st.	5	
		Mehrgewicht für Mörtel	20				Dachsteine	69	
2a	Dasselbe, aber böhmisch gedeckt	dann zusammen	115		9a	Dasselbe böhmisch gedeckt . .	Mörtel	3	
3	Kronendach wie Nr. 1.	Sparren 12/16 cm st.	13				zusammen	90	90
	zu Nr. 3.	Latten 4,5/6,5 cm st.	7		10	Mönch- und Nonnendach wie Nr. 9, jedoch aus Steinen kleineren Formats (für 1 qm 18 Mönch- und Nonnensteine 40 cm lang, 18 cm breit, sicht- bar nach der Eindeckung)	Mehrgew. für Mörtel	15	
		Dachsteine, 55 Stck. auf 1 qm	77				dann zusammen	105	
		Mörtel	6				Sparren 12/16 cm st.	13	
		zusammen	103	105			Latten 4,5/6,5 cm st.	5	
		Mehrgewicht für Mörtel	15		10a	Dasselbe böhmisch gedeckt . .	Dachsteine	63	
		zusammen	118				Mörtel	4	
		Mehrgewicht für Mörtel	15				zusammen	85	85
		zusammen	133				Mehrgew. für Mörtel	15	
		Mehrgewicht für Mörtel	15				dann zusammen	100	

3	Dasselbe, aber böhmisch gedeckt	Mehrgewicht für Mörtel 25 dann zusammen	130	11	Englisches Schieferdach auf Lattung wie Nr. 1	Sparren 12/16 cm st. Latten 4,5/6,5 cm st. Schiefer einschließ- lich Nägel 25 zusammen	44	45
4	Pfannendach auf Lattung in böhmischer Deckung einschl. Lattung und Sparren, bei Verwendung kleiner, sog. holländischer Pfannen	Sparren 12/16 cm st. Latten 4,5/6,5 cm st. Pfannen, 20 Stück/qm je 34.24.1,5 cm. 43 Mörtel 16 zusammen	78	12	Englisches Schieferdach wie vor, jedoch auf Schalung	Wie unter Nr 11 ausschließlich der Lattung 38 Dazu Schalung 2,5 cm stark 16 zusammen	54	55
zu Nr. 4. 				13	Deutsches Schieferdach auf Schalung und Pappunterlage einschließl. Pappe, Schalung usw. wie Nr. 1 (aus Steinen von rd. 35 cm Länge und 25 cm Breite)	Sparren 12/16 cm st. Schalung 2,5 cm st. Dachpappe 3 Schiefer einschließ- lich Nägel 32 zusammen	64	65
5	Pfannendach wie vor, aber mit großen Pfannen	Sparren 12/16 cm st. Latten 4,5/6,5 cm st. Pfannen, 16 Stück/qm je 40.24.1,5 cm. 50 Mörtel 16 zusammen	84	14	Deutsches Schieferdach wie vor (aus kleineren Steinen von rd. 20 cm Länge und 15 cm Breite)	Sparren 12/16 cm st. Schalung 2,5 cm st. Dachpappe 3 Schiefer einschließ- lich Nägel 28 zusammen	60	60
6	Pfannendach wie vor, aber auf Stülpschalung nebst darüber genagelten Strecklatten einschließl. Schalung, Strecklatten, Dachlatten und Sparren (verschaltes Pfannendach)	Wie unter Nr. 4 78 Dazu 2,5 cm st. gestülpte Schalung und Strecklatten 20 zusammen	98	15	Zinkdach in Leistendeckung einschl. der Schalung, Sparren usw. wie Nr. 1	Sparren 12/16 cm st. Schalung 2,5 cm st. 1,20 qm Zinkblech Nr. 13 7 zusammen	36	40
7	Falzziegeldach einschl. Lattung usw. wie Nr. 1	Sparren 12/16 cm st. Latten 4,5/6,5 cm st. 5	5	16	Kupferdach, mit doppelter Falzung eingedeckt, einschl. wie vor	Sparren 12/16 cm st. Schalung 2,5 cm st. 1,15 qm Kupferblech 0,6 mm st. 7 zusammen	36	40
			100	17	Wellblechdach aus verzinktem Eisenblech auf Winkeleisen	Wellblech 150.40.1,5 mm 16 Winkeleisen 2,0 m freitragend mit 2,0 m Abstand 7 Niete, Anstrich usw. 2 zusammen	25	25

1) Eigengewicht für 1 qm im einzelnen. — 2) Eigengewicht für 1 qm im ganzen.

Nr.	Benennung	Einzelteile	kg	kg	Nr.	Benennung	Einzelteile	kg	kg
18	Wellblechdach aus Zinkwellblech auf Schalung einschl. Schalung und Sparren	Sparren 12/16 cm st. Schalung 2,5 cm st. 1,20 qm Wellblech Nr. 13	13 16 8		24	Rohrdach einschl. Lattung und Sparren	Sparren 12/16 cm st. Latten 4,5/6,5 cm st. Staken 3,5 cm Durchmesser . . . Rohr	13 5 2 20	
		zusammen	37	40			Neugewicht	49	
19	Einfaches Teerpappdach einschließl. Schalung und Sparren	Sparren 12/16 cm st. Schalung 2,5 cm st. 1,05 qm Pappe . . Asphalt, Teer, Leisten und Nägel .	13 16 3 2				Dazu für Moosansatz und festgehaltenes Wasser etwa	30	
		zusammen	34	35			zusammen	79	80
20	Doppelpappdach	Sparren 12/16 cm st. Schalung 2,5 cm st. erste Lage (starke) Pappe einschließl. Nägel . . . zweite Lage . . . zwei Teeranstriehe Kies	13 16 6 4 4 0						
		zusammen	52	55					
21	Holzzementdach einschl. Schalung und Sparren	Sparren 14/18 cm st. Schalung 3,5 cm st. 1 Lage starke Pappe u. 3 Lagen Papier Kies 7 cm st. . . Holzzement . . .	16 23 7 126 8		25	Strohdach einschl. wie vor	Sparren 12/16 cm st. Latten Staken 3,5 cm Durchmesser . . . Stroh	13 6 3 22	
		zusammen	180	180			Neugewicht . . .	44	
22	Holzzementdach auf massiver Unterlage	1. Dachdeckung: Pappe und Papier Kies 7 cm hoch . . Holzzement . . . Zementestrich 2,5 cm stark . . . 2. Wärmeschutz: Lage aus 4 cm st. Korkplatten . .	7 126 8 55 12	196			Dazu für Moosansatz und festgehaltenes Wasser etwa	30	
	Bemerkung. Liegt die tragende Platte nicht in der Dachneigung, so muß das Gewicht der erforderlichen Aufmauerung in jedem Falle besonders ermittelt werden.						zusammen	74	75

zu Nr. 24.



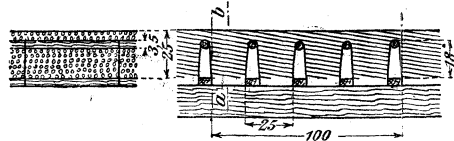
Die Gewichte unter 3. ändern sich entsprechend der gewählten Deckenkonstruktion.

	3. Decke (vgl. Nr. 9): Gewölbe und Hintermauerung . . .	245	
	Abgleichung mit Koksasche . . .	42	
	Deckenputz . . .	20	
	zusammen	515	520
21 b	Wird Schlackenbeton 5 cm hoch statt der Korkplatten als Wärmeschutz verwendet, so erhöht sich das Gewicht um	50 - 12 = Mehrgewicht	38
	zusammen	553	550
21 c	Wird eine 12 cm st. Schwemmsteinschicht statt der Korkplatten als Wärmeschutz verwendet, so erhöht sich das Gewicht um	120 - 12 = Mehrgewicht	108
	Dazu laut 21 a . . .	515	
	zusammen	623	620
22	Leinwanddach (Weber-Falkenberg und ähnliche) einschl. Lattung und Sparren . . .	Sparren 13 Lattung 6 Leinwand 2 Anstrich und Klebmasse sowie Nägel 2	
	zusammen	23	25
22 a	Dasselbe auf Schalung	Mehrgewicht 10	
	dann zusammen		35
23	Schindeldach einschl. Schalung und Sparren	Sparren 12/16 cm st. 13 Schalung 2,5 cm st. 16 Schindeln einschl. Nägel 16	
	zusammen	45	45

zu Nr. 23.



zu Nr. 25.



26	Glasdach auf Sprosseneisen einschließlich der letzteren bei 4 mm st. Glase	Glas 11 Sprossen von 5 kg Gewicht f. 1 m und rd. 0,45 m Abstand 11 zusammen	22
26 a	Dasselbe bei 5 mm st. Rohglase	Glas 14 Sprossen von 6 kg Gewicht f. 1 m und rd. 0,55 m Abstand 11 zusammen	25
26 b	Dasselbe bei 5 mm st. Drahtglase	Mehrgew. geg. 26 a dann zusammen	30
26 c	Dasselbe bei 6 mm st. Rohglase	Glas 17 Sprossen von 7 kg Gewicht f. 1 m und rd. 0,55 m Abstand 13 zusammen	30
26 d	Dasselbe bei 6 mm st. Drahtglase	Drahtglas, Mehrgewicht gegen 26 c dann zusammen	35
26 e	Für jedes mm Mehrst. des Glases	Mehrgewicht 3	
26 f	Bei Verwendung von Drahtglas	Mehrgewicht für die Drahteinlage 5	
27	Gewölbtes Dach aus Glasbausteinen (Bauart Falconnier und ähnliche)	Glasbausteine 42 Mörtel 22 zusammen	64

besondere Bleischeibe, Dichtung mit Hilfe bleiumhüllter Jutestricke. Beim Scheibenstoß sind die Sprossen zu verkröpfen.

Abb. 49 satteldachförmiges Oberlicht mit Traufe, mit Dichtung der First durch Zinkkappe, Auflagerung der Sprossen auf First-, Mittel- und Randpfette. Sprossen aus **1**-Eisen mit aufgebogenem Flansch an der Traufe, welcher vorwiegend die Glastafeln am Abgleiten hindert.

Abb. 50 wie vor, aber mit Rinne. Sprossen aus Mannstaedteisen, bei unterer Endigung Glastafeln durch Winkleisen gehalten, welche an die Sprossenrippe genietet.

Um schwierige Firstdichtung zu vermeiden, können Sprossen und Glastafeln dort in einem Stück gebogen werden.

Abb. 51 zeigt Dichtung an lotrechter Wandfläche.

Weitere feuersichere Verglasungen mittels

der Galvanoverglasung der Stern-Prismengesellschaft, Berlin,
des Luxferprismen- und Elektroglasses des Deutschen Luxfer-
prismensyndikats, Berlin,
der Elektrolitverglasung, Berlin.

Dachneigungen.

h Höhe, s halbe Weite des Satteldaches.

1. Spließdach	$h:s = 1:1$ bis $1:1,5$	
2. Doppeldach	$1:1,5$ „ $1:2,5$	
3. Kronen- oder Ritterdach	$1:1,5$ „ $1:2,5$	
4. Falzziegeldach	$1:1,5$ „ $1:3$	
5. Pfannendach + Mönch + Non- nendach	$1:1$ „ $1:1,5$	} Hohlziegel- dächer
6. Englisches Schieferdach	$1:1,5$ „ $1:2,5$	
7. Deutsches „	$1:1$ „ $1:1,5$	
8. Metaldächer	$1:5$ „ $1:7,5$	} geringste Neigung
a) Zinkdach	$1:3$ „ $1:6$	
b) Kupferdach	$1:3$ „ $1:6$	
c) Wellblechdach		
9. Teerpappdach	$1:5$ „ $1:7,5$	
10. Holzzementdach	$1:18$ „ $1:20$	

SECHSTER ABSCHNITT.

LÜFTUNG UND HEIZUNG.

I. LÜFTUNG.*)

Ausdehnung, Druck, Gewicht, Erwärmung und Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft s. I. Bd. Abschn. Wärme.

A. Notwendigkeit des Luftwechsels.

Regelmäßiger Luftwechsel in geschlossenen, von Menschen benutzten Räumen ist bedingt durch die in diesen, im wesentlichen aus nachstehenden Ursachen (Punkt 1 bis 5) rasch eintretende Güteverminderung der Luft.

1. Wärmeabgabe (W) der Menschen,

stündlich in Wärmeeinheiten (WE) bei einer Temperatur der umgebenden Luft von t^0 C.

Für einen Erwachsenen: $W = 6(37 - t)$; für $t = 20^0$, $W = 100$ WE/st.

Für ein Kind: $W = 3(37 - t)$; für $t = 20^0$, $W = 50$ WE/st.

2. Wärmeabgabe der Beleuchtung.**)

Beleuchtungsart	Stündlicher Verbrauch für 1 HK	Stündliche Wärmeabgabe für 1 HK in WE	Bemerkungen
Bogenlicht	1,1 Watt	1,0	Diese Wärmemengen können, trotzdem sie auch die zur Licht- bzw. Wasserbildung nötigen WE enthalten, ohne wesentliche Fehler als frei werdende Wärme angenommen werden.
Metallfadenlicht rd.***)	1,2 „	1,0	
Kohlenfadenlicht (16 HK)	4,5 „	4,0	
Azetylenlicht	0,0006 cbm	5,5	
Gasglühlicht (stehend). . .	0,0021 „	6,5	
Argandbrenner	0,010 „	50,0	
Braybrenner	0,013 „	67,0	
Petroleumlicht	0,0033 kg	36,0	

*) Unter Erweiterung des maschinentechnischen Teiles bearbeitet nach dem von Prof. Dr.-Ing. H. Rietschel verfaßten „Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen“, 4. Aufl., Berlin 1909, J. Springer. In der Folge mit „Leitfaden“ bezeichnet.

Außer der dort angegebenen Literatur s. a. Handbuch der Architektur, Leipzig 1908, IV. Bd.; Baukunde des Architekten, Berlin 1905, I. Bd.; Praktische Gewerbehygiene, Berlin 1896.

A. Z. L. bedeutet = Anweisung zur Herstellung und Erhaltung von Zentralheizungs- und Lüftungsanlagen. Erlaß des preuß. Ministeriums der öffentlichen Arbeiten vom 29. April 1909. Sonderabdruck im Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin.

**) S. a. Wedding, „Ueber den Wirkungsgrad und die praktische Bedeutung der gebräuchlichsten Lichtquellen“, Oldenbourg, München und Berlin 1905.

***) Mittel für Osram-, Tantal- und Siriuslampen.

3. Ausscheidung organischer Produkte durch Ausatmung und Ausdünstung der Menschen.

Zur Zeit fehlen über die entstehenden Mengen genaue Angaben. Nach Pettenkofer wird durch sie die Widerstandsfähigkeit des menschlichen Körpers gegen Krankheiten herabgesetzt. Als Maßstab der durch sie hervorgerufenen Güteverminderung der Luft gilt der Kohlensäuregehalt der letzteren.

Beseitigung der im Zusammenhang mit diesen Ausscheidungen auftretenden widerlichen Gerüche durch Ozon, namentlich für Theater, Restaurants, Zwischendecks der Schiffe usw.*)

4. Ausscheidung von Wasserdampf durch die Menschen.

Die stündliche Wasserdampfabgabe beträgt nach Pettenkofer und Voit für einen Erwachsenen bei Ruhe 0,04 kg, bei körperlicher Arbeit 0,08 kg, für ein Kind die Hälfte.

Als relative Feuchtigkeit (I. Bd. S. 321) genügt für normale Räume (Gemädegalerien, Sammlungen, Webereien usw. ausgeschlossen) bei reiner Luft 25 bis 30 vH. Zu feuchte Luft ist schädlicher als trockne. Eine relative Feuchtigkeit von 70 vH soll niemals überschritten werden.

5. Ausscheidung von Kohlensäure durch Menschen und Beleuchtung.

Benennung	Stündliche Kohlensäureabgabe in cbm von 0°
Erwachsene bei körperlicher Arbeit	0,036
Erwachsene bei Ruhe	0,020
Halberwachsene	0,016
Kinder	0,010
1 cbm Leuchtgas	0,57
1 kg Petroleum	1,57
1 kg Stearin	1,42

B. Gröfse des Luftwechsels.

1. Unter Zugrundelegung einer nicht zu überschreitenden Temperatur.

Bezeichnet:

L die in der Raumtemperatur t zu bestimmende Luftmenge in cbm/st,
 t die Raumtemperatur 1,5 m vom Fußboden (Kopfhöhe), s. S. 439,
 t_1 die Temperatur an der Decke des Raumes, s. S. 439,

$$tm = \frac{t + t_1}{2},$$

*) S. Bericht über die „7. Versammlung von Heizungs- und Lüftungsfachmännern in Frankfurt a. M. 1909“. Oldenbourg, München und Berlin.

t' die Zulufttemperatur (für von Menschen besetzte Räume mindestens mit 18° anzunehmen),

W_1 die Wärmeabgabe durch die Menschen in WE/st,

W_2 die Wärmeabgabe der Beleuchtung in WE/st,

W_3 die Wärmeabgabe (im Winter) bzw. Wärmeaufnahme (im Sommer) in WE/st, die durch die Umfassungswände ab- bzw. zuströmt,

$$W = W_1 + W_2 \pm W_3,$$

α den Ausdehnungskoeffizienten der Luft $= \frac{1}{273}$,

so gilt für den Beharrungszustand

$$L = \frac{W(1 + \alpha t)}{0,306(t_m - t')}.$$

Stündlicher Luftwechsel für 1000 abzuführende WE. nach dem „Leitfaden“.

Unterschied zwischen der mittleren Temperatur (t_m), der abzuführenden und der Temperatur der einströmenden Luft (t')	Luftwechsel in cbm und in der Temperatur der abzuführenden Raumluft							
	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°
1°	3484	3496	3508	3520	3531	3544	3556	3567
2°	1742	1748	1754	1760	1766	1772	1778	1784
3°	1161	1165	1169	1173	1177	1181	1185	1189
4°	871	874	877	880	883	886	889	892
5°	697	699	702	704	706	709	711	714
6°	581	583	585	587	589	591	593	595
7°	498	499	501	503	505	506	508	510
8°	436	437	438	440	441	443	444	446
9°	387	388	390	391	392	394	395	396
10°	348	350	351	352	353	354	356	357

2. Unter Zugrundelegung eines nicht zu übersteigenden Kohlensäuregehaltes.

Bezeichnet:

L die in der Raumtemperatur t zu bestimmende Luftmenge in cbm/st,

p den Kohlensäuregehalt der Raumluft im Beharrungszustand cbm/cbm,

a den Kohlensäuregehalt der eingeführten Luft (im Mittel $a = 0,0004$ cbm/cbm),

n die Anzahl der Kohlensäurequellen im Raum,

k die Kohlensäureproduktion einer Quelle (cbm/st),

so gilt im Beharrungszustand

$$L = \frac{nk}{p - a}.$$

Stündlicher Luftwechsel (für 1 Kopf bzw. für 1 cbm) **nach Maßgabe eines nicht zu übersteigenden Kohlensäuregehaltes von 0,7 bis 1,5 vT nach dem „Leitfaden“.**

Bezeichnung	Erforderlicher Luftwechsel in cbm von 20° bei einem nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehalt in Tausendsteln								
	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Kräftiger Arbeiter bei der Arbeit	120,0	90,0	72,0	60,0	51,4	45,0	40,0	36,0	32,7
Kräftiger Arbeiter bei der Ruhe	76,7	57,5	46,0	38,3	32,9	28,8	25,6	23,0	20,9
Erwachsener, im Mittel	66,7	50,0	40,0	33,3	28,6	25,0	22,2	20,0	18,2
Halberwachsener . .	53,3	40,0	32,0	26,7	22,9	20,0	17,8	16,0	14,5
Kind	33,3	25,0	20,0	16,7	14,3	12,5	11,1	10,0	9,1
Leuchtgas für 1 cbm .	2033	1525	1220	1017	871	763	678	610	555

3. Allgemeine Annahmen für den stündlichen Luftwechsel mit Rücksicht auf Punkt 2 und auf Grund von Erfahrungssätzen nach A. Z. L. bzw. dem „Leitfaden“.

	Geringster		Größter	
	stündlicher Luftwechsel			
Krankenräume f. Erwachsene	75	} cbm f. d. Kopf	75	} cbm f. d. Kopf
Krankenräume für Kinder .	35		35	
Schulräume:				
für Kinder im Alter bis zu 10 Jahren	10		17	
für Kinder im Alter über 10 Jahre	15		25	
Schlafzellen für Gefangene	10		—	
Einzelzellen für Gefangene .	15—22		—	
Räume für gemeinschaftliche Haft	10		—	
Aufenthaltsräume für Erwachsene:				
bei bestimmter Anzahl der Anwesenden . .	20		35	
bei unbestimmter Anzahl der Anwesenden	1 faches d. Rauminhalts		2 faches d. Rauminhalts	
Treppenhäuser, Korridore usw.:				
bei starker Benutzung .	3	" " "	4	" " "
bei geringer Benutzung	1/2	" " "	1	" " "
Küchen und Abort . . .	3	" " "	5	" " "

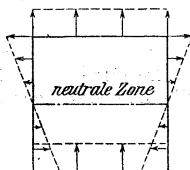
In den meisten Fällen wird der nach Punkt 1 berechnete Luftwechsel der grössere sein, und dieser ist daher der Ausführung zugrunde zu legen. In Räumen mittlerer Größe und nur einem Zuluftkanal soll mit Rücksicht auf Zugescheinung der stündliche Luftwechsel das Fünffache des Rauminhaltes nicht übersteigen.

C. Druckverhältnisse in einem geschlossenen Raum.

Bei Windstille bilden sich in geschlossenen Räumen je nach der Temperaturdifferenz Druckkräfte aus, die durch die in Abb. 1 eingezeichneten Pfeile in ihrer Richtung und relativen Größe angedeutet sind.*) In durchlässigen Räumen findet sonach in den durch eine „neutrale Zone“ getrennten Raumteilen Einströmen bzw. Abströmen der Luft statt.

Die neutrale Zone läßt sich durch entsprechende Wahl der Querschnitte und Temperaturen der Kanäle sowie durch Verwendung von Zu- und Abluftventilatoren höher oder tiefer legen. Ueberdruck für Festsäle, Versammlungsräume, Theater, Restaurants, Räume, in denen beim Fenster gearbeitet wird usw.; Unterdruck für Küchen, Garderoben, Aborte, Bäder usw.

Abb. 1.



D. Erzielung des Luftwechsels.

1. Natürliche Lüftung.

Diese ist ermöglicht infolge der Durchlässigkeit der Baumaterialien. Bezeichnet:

L die durch eine Wand stündlich hindurchfließende Luftmenge in cbm,

F die Fläche der Wand in qm,

e die Stärke der Wand in m,

$p - p_0$ den durch Temperatureinflüsse oder Windverhältnisse hervorgerufenen Druckunterschied zwischen der Innen- und Außenseite der Wand in kg/qm,

c den Durchlässigkeitskoeffizient (z. B. für Ziegel 0,000201, Bruchstein 0,000124, Beton 0,000258),

so ist nach Lang**)

$$L = \frac{F \cdot c \cdot (p - p_0)}{e}$$

Die so ermittelten Werte für L geben jedoch keineswegs die tatsächliche Größe des natürlichen Luftwechsels, da dieser von dem rechnerisch nicht festzustellenden und weitaus überwiegenden Einfluss der Undichtigkeiten von Fenstern und Türen abhängt.

*) Die Darstellung gilt bei warmer Innen- und kalter Außenluft. Bei umgekehrten Temperaturverhältnissen ändert sich sinngemäß das Diagramm.

**) C. Lang, Ueber natürliche Lüftung, Stuttgart 1877.

Relativ ermöglichen die Werte von c eine Beurteilung der Baumaterialien nach ihrer Luftdurchlässigkeit, die sich in nachstehender Reihenfolge vermindert:

Kalkstein,
Fichtenholz über Hirn (Faserrichtung),
Luftmörtel,
Beton,
stark gebrannte Handziegel,
Klinker (Verblendsteine), unglasiert,
Portlandzement,
Sandstein.

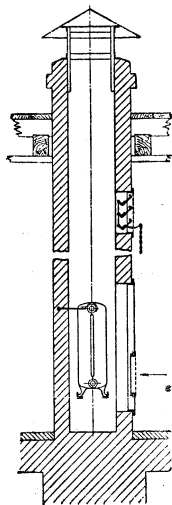
Durch Wandbekleidung vermindert sich die Durchlässigkeit in nachstehender Reihenfolge:

Anstrich von Kalkfarbe,
Anstrich von Leimfarbe,
Oelfarbenanstrich (neu undurchlässig),
Wasserglas (mit der Zeit undurchlässig).

Im allgemeinen kann der stündliche natürliche Luftwechsel als das Einfache des Rauminhaltes geschätzt werden.

2. Absichtliche (künstliche) Lüftung.

Abb. 2.



a) **Durch Temperaturdifferenz**, und zwar durch Erwärmung der Zu- oder der Abluft (Abb. 2) oder beider Luftmengen.

α) Vorteile: Keine mechanische Betriebskraft.

β) Nachteile:

Die Wirkung solcher Lüftungsanlagen nimmt mit steigender Außentemperatur, also gerade dann, wenn sie um so nötiger gebraucht wird, ab;

Beeinflussung bzw. Aufhebung des Effektes durch den Wind;

Schwierigkeit bzw. Unmöglichkeit der Regelung;

Erzielung bestimmter Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen nur in ganz engen Grenzen möglich. Anwendung von Filtern ausgeschlossen.

γ) Berechnung.

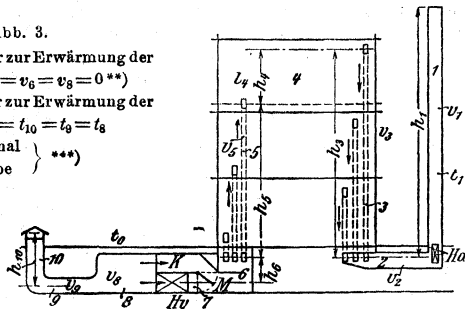
Bezeichnet in Abb. 3:

1, 2, 3 die einzelnen Teilstrecken (4 den zu lüftenden Raum, 6 die Misch- bzw. Verteilungskammer, 7 die Heizkammer, 8 die Staubkammer, 9, 10 Frischluftkanäle),

- $h_1, h_2, h_3 \dots$ die Höhen der
 $v_1, v_2, v_3 \dots$ die Geschwindigkeit in den
 $t_1, t_2, t_3 \dots$ die Temperaturen in den
 $L_1, L_2, L_3 \dots$ die in den Temperaturen $t_1, t_2, t_3 \dots$ zugehörigen
 gegebenen Luftmengen der Teilstrecken,
 $f_1, f_2, f_3 \dots$ die lichten Querschnitte der
 t_0 die höchste Aufsentemperatur, bei der noch die volle
 Lüftung einzuhalten ist,*)
 g die Beschleunigung der Schwere,
 H den in der Trennungsebene zwischen Ab- und Zuluft
 geforderten Ueber- bzw. Unterdruck in m Luftsäule
 der bezüglichen Raumtemperatur,
 $Z = R + \Sigma \xi$ die Summe aus Reibungs- und einmaligen Widerständen
 (s. weiter unten),

Abb. 3.

- H_a Heizkörper zur Erwärmung der
 Abluft; $v_4 = v_6 = v_8 = 0^{**}$)
 H_v Heizkörper zur Erwärmung der
 Zuluft; $t_0 = t_{10} = t_8 = t_6$
 K Kaltluftkanal } ***)
 M Mischklappe



so gelten für den ungünstigsten Kanalzug (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) die folgenden Gleichungen:

Abluftanlage:

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{h_1}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_1}{1 + \alpha t_1} \right) - \left(\frac{h_3}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_3}{1 + \alpha t_3} \right) + \left(\frac{h_4}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_4}{1 + \alpha t_4} \right) \\
 & + \frac{H}{1 + \alpha t_4} = \frac{v_1^2}{2g(1 + \alpha t_1)} (1 + Z_1) + \frac{v_2^2}{2g(1 + \alpha t_2)} Z_2 \\
 & + \frac{v_3^2}{2g(1 + \alpha t_3)} Z_3 \dots \dots \dots 1)
 \end{aligned}$$

*) Nach A. Z. L.:

$t_0 = + 25^\circ$, wenn der Luftwechsel durch die Anlage sowohl im Winter als im Sommer erzielt werden soll.

$t_0 = + 10^\circ$, wenn nur während der Heizperiode die volle Lüftung verlangt wird (Krankenhäuser, Schulen, Gerichtssäle, Versammlungssäle, Kassenräume u. dgl.),

$t_0 = 0$ bis $+ 5^\circ$, wenn im Winter die volle Lüftung nur durchschnittlich erzielt zu werden braucht (Wohnräume, gering besetzte Büroräume u. dgl.).

**) Für v_7 ist das Maximum einzusetzen, sonach anzunehmen, daß alle Luft erwärmt wird.

***) Die Anordnung ist zur besseren Luftmischung stets so zu treffen, daß die kalte Luft über der wärmeren eingeführt wird.

Zuluftanlage:

$$\left(\frac{h_5}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_5}{1 + \alpha t_5} \right) + \left(\frac{h_6}{1 + \alpha t_0} - \frac{h_6}{1 + \alpha t_6} \right) - \frac{H}{1 + \alpha t_4}$$

$$= \frac{v_5^2}{2g(1 + \alpha t_5)} (1 + Z_5) + \frac{v_7^2}{2g(1 + \alpha t_7)} Z_7$$

$$+ \frac{v_9^2}{2g(1 + \alpha t_9)} Z_9 + \frac{v_{10}^2}{2g(1 + \alpha t_{10})} Z_{10} \dots \dots \dots \text{II)}$$

Für beide Anlagen:

$$v_1 = \frac{L_1}{1 + \alpha t_1} \cdot \frac{1}{3600 f_1}; \quad v_2 = \frac{L_2}{1 + \alpha t_2} \cdot \frac{1}{3600 f_2}, \quad v_3 = \text{usw.} \quad \text{III)}$$

Zur Lösung der Gleichungen I und II müssen in beiden alle Geschwindigkeiten (entweder durch unmittelbare Annahme oder mit Hilfe der Bedingungsgleichungen III unter Annahme von L und f) bis auf eine gewählt und diese letzte durch Probieren so gefunden werden, daß durch sie sowohl Gleichung I bzw. Gleichung II als auch die zugehörige Gleichung III erfüllt wird.

d) Reibungs- und einmalige Widerstände.

Bezeichnet ϱ_1 bzw. ϱ_2 den Reibungskoeffizient und zwar:

$$\varrho_1 = 0,0065 + \frac{0,0604}{u - 48} \quad *) \quad \text{für gemauerte Kanalleitungen,}$$

$$\varrho_2 = 0,00309 + \frac{0,00209}{v} + \frac{0,000337}{u} + \frac{0,000878}{v \cdot u} \quad \text{für metallene Leitungen,} *)$$

 l die Länge des Kanales in m, u den Umfang des Kanales in m, f den lichten Querschnitt des Kanales in qm, v die Geschwindigkeit im Kanal in m/sk,

so ist

$$R = \frac{\varrho_1 \cdot l \cdot u}{f} \quad \text{bzw.} \quad = \frac{\varrho_2 \cdot l \cdot u}{f} \quad **).$$

Ueber die einmaligen Widerstände s. nähere Angaben auf S. 84 u. f. des „Leitfadens“. Aus dieser Quelle sind entnommen:

Einströmungen (je nach der Kontraktion) $\xi = 1,0$ bis $1,5$ Rechtwinkliges, scharfes Knie $\dots \dots \dots \xi = 1,5$ Rechtwinkliger Bogen $\dots \dots \dots \xi = 1,0$ Knie von $135^\circ \dots \dots \dots \xi = 0,6$ Gitter je nach freiem Querschnitt $\dots \dots \xi = 1,0$ bis $2,0$ Geöffnete Klappe oder Schieber $\dots \dots \xi = 0$ Querschnittsveränderungen $\dots \dots \dots \xi = \left(\frac{f}{f_1} - 1 \right)^2$,bezogen auf die zu f gehörige Geschwindigkeit v .*) Ausgerechnete Werte von ϱ_1 und ϱ_2 enthalten die Tabellen 8 a u. 8 b des „Leitfadens“.**) Ausgemittelte Werte für $\frac{\rho \cdot u_1}{f}$ enthält Tabelle 9 des „Leitfadens“.

b) Durch Ausnutzung des Windes, und zwar mit Hilfe von Prefsbzw. Saugköpfen.

α) Vorteil: Keine mechanische Betriebskraft.

β) Nachteile: s. unter a) insbesondere: Vollständige Abhängigkeit von den Windverhältnissen und sonach zur Erzielung bestimmter Wirkungen nur für bewegte Räume (Eisenbahnen, Schiffe) zu verwenden.

Für Häuser kommen nur Saugköpfe (Defektoren) in Betracht, und zwar nur insoweit, als sie eine schädliche Wirkung von Oberwind (Drücken in den Kanal) sicher verhindern sollen.

Eingehende Untersuchungen, insbesondere über Apparate für Eisenbahnen und Schiffe siehe „Mitteilungen der Prüfungsanstalt für Heizungs- und Lüftungseinrichtungen der Königl. Techn. Hochschule in Berlin“, Heft 2, Oldenbourg, München und Berlin 1910.

c) Durch Anwendung von Ventilatoren, und zwar für die Zuluft oder die Abluft oder für beide Luftmengen.

α) Vorteile:

Unabhängigkeit von der Außentemperatur und den Windverhältnissen,

Möglichkeit guter Regelung,

Erzielbarkeit bestimmter Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen in weiten Grenzen,

Verhinderung von Zegerscheinungen,

Möglichkeit der Anwendung von Filtern.

β) Nachteile: Notwendigkeit mechanischer Betriebskraft, deren Kosten aber bei richtiger Durchbildung der ganzen Anlage reichlich durch die zu erzielenden Vorteile gedeckt werden.

F Filter

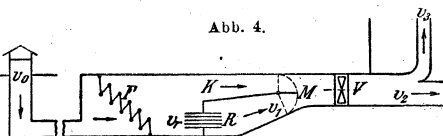
K Kaltluftkanal

R Röhrenkessel zur
Lufterwärmung

M Mischklappe

V Ventilator.

Abb. 4.



γ) Berechnung: Bezeichnet in Abb. 4:

v_0 die Geschwindigkeit im Frischluftkanal in m/sk,
 $v_1, v_2, v_3 \dots, v_n \dots, v_m$ die Luftgeschwindigkeiten entlang des ungünstigsten Kanalzuges in m/sk,

$\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2 \dots$ die den Kanälen zugehörigen spezifischen Gewichte der Luft in kg/cbm,

$Z_0, Z_1, Z_2 \dots$ die Summe der den Kanälen zugehörigen einmaligen und Reibungswiderstände,

h_f den Filterwiderstand in mm WS,*)

h_k den Widerstand des Röhrenkessels R bei der maximalen Luftgeschwindigkeit in mm WS**)

*) S. S. 433, 434.

**) S. S. 441, 442.

h_R der in dem ungünstigst gelegenen Raume einzuhaltende Ueber- oder Unterdruck in mm WS (Raumtemperatur t_R , spezifisches Gewicht der Raumluft γ_R),

H_s die statische Druckdifferenz zwischen Druck- und Saugrohr des Ventilators in mm WS,

H_d die dynamische Druckdifferenz zwischen Druck- und Saugrohr des Ventilators in mm WS, $\left(\Delta \frac{v_2^2}{2g} \gamma\right)$, wobei γ das spezifische Gewicht der geförderten Luft und g die Beschleunigung der Schwere bedeutet,

$H = H_s + H_d$ den Gesamtdruck in mm WS,

L die vom spezifischen Gewicht γ zu fördernde Luftmenge in cbm/sk,

η den Wirkungsgrad des Ventilators,

P den Kraftbedarf des Ventilators in PS,

so ist unter Vernachlässigung der Kompression sowie der meist geringen Druckhöhe, die durch Temperaturdifferenzen wirksam wird, zu setzen für die

Zuluftanlage:

$$H = h_f + h_k \pm h_R + \frac{v_0^2}{2g} \gamma_0 (1 + Z_0) + \frac{v_1^2}{2g} \gamma_1 (1 + Z_1) + \frac{v_2^2}{2g} \gamma_2 Z_2 + \frac{v_3^2}{2g} \gamma_3 Z_3 + \dots + \frac{v_n^2}{2g} \gamma_n Z_n,$$

Abluftanlage:

$$H = \frac{v_{n+1}^2}{2g} \gamma_{n+1} (1 + Z_{n+1}) + \frac{v_{n+2}^2}{2g} \gamma_{n+2} Z_{n+2} + \dots + \frac{v_m^2}{2g} \gamma_m Z_m,$$

für beide Anlagen:

$$P = \frac{L(H_s + H_d)}{\eta \cdot 75}.$$

d) Wahl der Ventilatoren. *) Oftmals hat diese aus Preislisten zu erfolgen, in denen Angaben für freies Ein- und Ausströmen enthalten sind.

Die bezüglichlichen Methoden **) setzen für wesentlich verschiedene Betriebszustände die Annahme eines unveränderlichen Wirkungsgrades

*) Bezüglich Konstruktion von Ventilatoren s. II. Bd. S. 625, ferner Lorenz, Neue Theorie und Berechnung der Kreisellräder. Oldenbourg, München 1906. Biel, Die Wirkungsweise der Kreiselpumpen und Ventilatoren, Forschungsarbeiten, Heft 42. Blaess Z. f. d. ges. Turbinenwesen 1907, Verl. Oldenbourg. Schütte, Die Wirkungsgrade von Ventilatoren und Zentrifugalpumpen, Z. d. V. d. I. 1906, Nr. 42. — Luft-, Wasser- und Dampfstrahlgebläse können nur in seltensten Fällen Verwendung finden (Küchen usw.), erzeugen fast stets starkes Geräusch und seien hier übergangen.

**) „Leitfaden“, S. 55 und Recknagel, Gesundheitsingenieur, Jahrg. 1898 und Kalender für Gesundheitstechniker, Jahrg. 1910.

voraus, so daß hiernach nur ungefähre Anhalte für Aufstellung von Kostenanschlägen erhalten werden können.

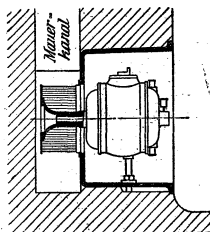
Für alle anderen Fälle müssen von den ausführenden Firmen Leistungs- und Wirkungsgradgarantien für die tatsächlichen Betriebsverhältnisse gefordert werden.*)

e) Antrieb und Aufstellung der Ventilatoren.

Antrieb:**) Am besten durch Gleichstromnebenschlußmotore. Direkter Antrieb (Abb. 5) möglich bei abnormalen, langsamlaufenden (wegen Geräusch) Motoren, sonst normale Bauart und Riemenantrieb mit guten Nachspannvorrichtungen. Regulierung möglichst bis $\pm 50\%$ der Normalleistung.

Aufstellung. Im allgemeinen hinter die Heizkammer, wegen guter Mischung der Luft; dann aber besondere Vorsicht nötig, damit Geräusche vom Ventilator und Motor nicht störend werden. Fundament in keiner Verbindung mit dem Gebäudefundament bzw. mit Trägern im Gebäude, Anwendung schalldämpfender Unterlagen, Ausführung der Gehäuse womöglich in Eisenmauerwerk (Eisenbeton).

Abb. 5.



E. Ausführung von Lüftungsanlagen.

1. Entnahme der Luft.

Entnahmestelle geschützt vor Wind, Staub, Rauch und Rufs in beliebiger Terrainhöhe, womöglich in oder in der Nähe von Gartenanlagen. Kurz hinter der Schöpfstelle vom Heizerstand zu betätigende Absperrschieber oder Klappen.

2. Reinigung der Luft.

a) **Staubkammern.** Möglichst groß, glatt verfugt, hell, leicht reinigbar, nicht im Grundwasser. Luftwiderstand null.

b) **Streiffilter** (Staubfänger). Luft streicht an gerauhten Stoffen vorbei. Luftwiderstand gering, als Vorfilter geeignet.

c) **Filter.** Luft streicht durch Stoffe (Gewebe, Watte, Holzwole, Koks usw.) hindurch. Widerstand bedeutend, wachsend mit zunehmender Verstaubung. Filter müssen daher periodisch gereinigt werden.

Bezeichnet:

h = Druckhöhenverlust in mm WS

L = Luftmenge in cbm/st

γ = spezifisches Gewicht der Luft

F = Filterfläche in qm

*) Verein Deutscher Ingenieure, Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren; Brabbée und Berlowitz, „Untersuchungen von Ventilatoren für Lüftungsanlagen. Z. d. V. d. I. 1910.

**) Brabbée, Drucklüftung von Gebäuden. Z. d. V. d. I. 1908.

m = einen Koeffizienten,*) und zwar (bei mittlerer Verstaubung)
für gerauhten Barchent = 0,024 ~ 0,03; für gewöhnliches
Nessel Tuch = 0,0015 ~ 0,002,

so ist
$$h = \frac{mL}{F} \gamma.$$

d) **Waschen der Luft.** Günstige, reinigende Wirkung bei mäßigem Kraftverbrauch durch Wasserstaubregen von bedeutender Ausdehnung. Anlagen erfordern Vorwärmen, Waschen, Trocknen und Nachwärmen der Luft, daher nur für große Betriebe geeignet.

3. Befeuchtung der Luft.

a) **Oertliche Einrichtungen.** Unzulänglich, schwierig dauernd rein zu halten, oftmalige Bedienung, daher nicht empfehlenswert.

b) **Zentrale Einrichtungen.** Mit Dampf geheizte Verdunstungsgefäße oder Apparate, bei denen feine Wasserstrahlen gegen Prellbleche stoßen und zerstäuben, oder Düsenapparate oder rotierende Zerstäuber. (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.) Sehr wirksam und namentlich in Verbindung mit automatischen Feuchtigkeitsreglern zu empfehlen.

Soll Luft getrocknet werden, so ist Abkühlung bis unter den Taupunkt erforderlich. Die Kühltemperatur ist so zu wählen, daß die Luft bei ihrer nachfolgenden Mischung oder Erwärmung auf die gewünschte Eintrittstemperatur die geforderte relative Feuchtigkeit besitzt. Umständlich und daher nur für besondere Zwecke (Transport oder Aufbewahrung von Tee, Reis, Tabak usw.) anwendbar.

4. Erwärmung der Luft.

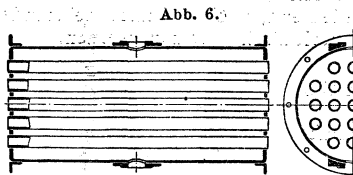
a) **Oertliche Heizkörper.**)**

Vorteile: Gute Verteilung der Heizflächen, meistens in Fenster-nischen, kurze Kanäle, billig.

Nachteile: Unmöglichkeit der Luftreinigung, Abhängigkeit von Temperatur- und Windverhältnissen der Außenluft, Frostgefahr für die Heizkörper, Unmöglichkeit genauer Regelung und Erzielung bestimmter Zulufttemperaturen.

b) **Zentrale Lufterwärmung in besonderen Heizkammern.**

Vorteile: Möglichkeit der Luftreinigung durch Filter, Sicherung der gewünschten Zulufttemperat



turen unabhängig von Temperatur- und Windverhältnissen der Außenluft, vorzügliche Ausnutzung der Heizflächen, da unter Benutzung besonderer Heizapparate (schräggestellter Radiatoren, Sturvantheizkörper, Röhrenkessel, (Abb. 6)

meist hohe Luftgeschwindigkeiten angewandt werden, ***) Möglichkeit

*) „Leitfaden“, S. 23 **) Ueber ihre Wärmeabgabe s. S. 440.

***) Ueber Wärmeabgabe und Widerstand solcher Heizflächen s. S. 441, 442.

genauesten Regelung der Zulufttemperaturen unter gleichzeitiger Erzielung bestimmter Druckverhältnisse in dem zu lüftenden Raum.

Nachteil: Höhere Kosten.

Derartige Anlagen sehr zu empfehlen. Größere horizontale Luftwege vermeiden, besser mehrere getrennte Heizkammern anordnen.

5. Mittel zur Bewegung der Luft s. S. 428 u. f.

6. Zu- und Abluftkanäle.

Bei Anlagen, die unter Ausnutzung des Winddruckes arbeiten, müssen zur Sicherung des Effektes lange Kanäle überhaupt, bei Anlagen, die durch Temperaturdifferenzen wirken, lange horizontale Kanäle vermieden werden, während unter Anwendung von Ventilatoren solche Beschränkungen nur hinsichtlich des Kraftbedarfs der Anlage und des Wärmeverlustes der fortzuleitenden Luft geboten sind.

Die Kanäle sollen womöglich begeh- oder beschlupfbar, immer aber glatt, peinlichst sauber und reinbar hergestellt werden. Soweit Geschwindigkeiten anzunehmen sind (hierüber siehe Berechnung der Kanäle, S. 429 u. f.), sollen sie bei Anlagen ohne Ventilator nicht über 1 m/sk, mit Ventilator etwa zu 2 bis 3 m/sk gewählt werden, mit Ausnahme unzugänglicher Kanäle, wo durch Anwendung großer Geschwindigkeit (4 bis 5 m/sk) Staubablagerungen möglichst vermieden werden sollen.

Die richtige Anordnung der Ein- und Ausströmöffnungen in den Räumen ist wegen der stets auftretenden Sekundärströmungen der schwierigste Teil der Kanalanlage. Die bezüglichen Erwägungen sind kurz nicht erschöpfend zu fassen und muß auf den „Leitfaden“, 4. Aufl., S. 58 u. f. verwiesen werden.

7. Bedienung von Lüftungsanlagen.

Diese wird bei großen Lüftungsanlagen ordnungsmäßig und ökonomisch nur möglich durch Zusammenziehen aller Regelungs-, Bedienungs- und Anzeigeapparate

in einen Zentralbedienungsraum, in dem vorhanden sein sollen: Fernthermometer für Außenluft, Zuluft und für wichtige Punkte in den Räumen, Fernmanometer für jene Stellen, an denen ein bestimmter Ueber- oder Unterdruck verlangt ist, Luftmengenmesser und Reguliervorrichtungen

für die Ventilatoren, Ampère- bzw. Voltmeter für die Ventilationsmotore, Bedienungseinrichtungen für alle wesentlichen Zu-, Abluft- und Mischklappen (Abb. 7).

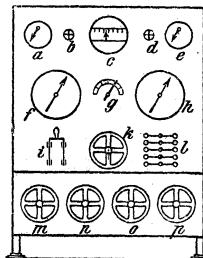


Abb. 7.

- a Voltmeter
- b d Sicherungen
- c Fernthermometer
- e Ampèremeter
- f Luftmengenmeßapparat
- g Fernthermometerumschalter
- h Luftdruckmeßapparat
- i Hauptschalter
- k Regulierwiderstand
- l Umschalter zum Luftdruckmeßapparat
- m n o p Klappenfernsteller.

II. HEIZUNG.*)

Ueber Brennstoffe, Heizwert, Verbrennung, Schornsteine,**) Rauchverhütung siehe die im Inhaltsverzeichnis angegebenen Stellen der Bände I und II.

A. Stündlicher Wärmeverlust geschlossener Räume.

1. Allgemeines.

Bezeichnet

W die im Beharrungszustand stündlich durch die Umfassungsflächen eines Raumes (Wände, Fenster, Türen usw.) nach außen abgegebene Wärmemenge in WE (Wärmetransmission),

F die wärmeabgebende Fläche in qm,

t die Innentemperatur, t_0 die Außentemperatur ($t > t_0$),

k die Wärmedurchgangszahl (Transmissionskoeffizient), d. i. die stündliche Wärmeabgabe in WE für 1 qm und 1° Temperaturunterschied, so ist

$$W = kF(t - t_0).$$

2. Werte für k nach A. Z. L. bzw. dem „Leitfaden“.

(Im letzteren sind im Teil II, S. 26 u. f. noch weitere Werte angegeben.)

a) Außenwände.

Backstein***)	Stärke†)	0,12	0,25	0,38	0,50	0,64	0,77	0,9	1,03	1,16	
	$k =$	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,55	
Sandstein	Stärke	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	$k =$	2,2	1,9	1,7	1,55	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,95
Kalkstein	Stärke	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	$k =$	2,5	2,2	2,0	1,8	1,7	1,55	1,4	1,3	1,25	1,2
Stampfbeton	Stärke	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3				
	$k =$	3,4	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5				

b) Innenwände.

Backstein	Stärke†)	0,12	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77		
	$k =$	2,2	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7		
Kalksandstein	Stärke	0,12	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77		
	$k =$	2,3	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9		

*) Siehe Fußnote zu I. Lüftung.

**) Ueber Hausschornsteine in Preußen s. C. Baltz, Preussisches Baupolizeirecht, 3. Aufl., C. Heymanns Verlag, Berlin.

***) Bei Quaderverblendung ist für die gleiche Gesamtwandstärke K um 15 vH zu erhöhen.

†) Ohne Putz in m.

Rabitzwand	Stärke	0,04	0,06	0,08	0,10				
	$k =$	3,1	2,8	2,5	2,3				
Gipsdielen	Stärke	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
	$k =$	3,2	3,0	2,9	2,8	2,65	2,5	2,4	2,3
Prüfs'sche Wand ohne Luftschicht	Stärke	0,06							
	$k =$	2,7							

c) Fußböden und Decken.

	als Fuß- boden	als Decke
	$k =$	
Balkenlagen mit halbem Windelboden	0,35	0,50
Gewölbe mit massivem Fußboden	1,00	—
Gewölbe mit Dielung darüber	0,45	0,70
Hölzerne, über dem Erdreich hohl verlegte Fußböden	0,80	—
dsgl. in Asphalt verlegt	1,00	—
Massive Fußböden über dem Erdreich	1,40	—
Preussische Kappe aus Vollsteinen mit Holzfussboden	0,40	0,75
Horizontale Massivdecke System Kleine	0,35	0,70
Hohlsteindecke System Sekura	0,45	0,65
Hohlsteindecke System Westphal	0,90	1,25
Koenensche Plandecke	0,35	1,20
Rohrzellendecke System Wayss	0,45	0,75
Siegbartbalkendecke	0,60	1,30
Betonplattendecke	1,80	1,80

d) Türen.

Im Mittel $k = 2,0$.

e) Fenster.

Einfache Fenster und Glasfüllungen in den Türen	$k = 5,0$
Einfache Fenster mit doppelter Verglasung	$k = 3,5$
Doppelte Fenster	$k = 2,3$
Einfache Oberlichter, darüber Außenluft	$k = 5,3$
Doppelte Oberlichter, darüber Außenluft	$k = 2,4$

f) Dächer.

Teerpappdach, Zinkdach, Kupferdach, Schieferdach, alle auf Schalung	$k = 2,2$
Ziegeldach ohne Schalung (aber dicht)	$k = 4,9$
Ziegeldach auf Lattung, Schalung und Putz	$k = 1,6$
Holzzementdach	$k = 1,3$
Wellblechdach ohne Schalung	$k = 10,4$
Betondach mit Dachpappe und Putz	$k = 2,6$
dsgl. mit Korkisolierung, Luftschicht und Putz	$k = 1,3$

3. Zuschläge zu dem so bestimmten Wärmeverlust nach A. Z. L.

a) für Himmelsrichtung, und zwar Norden, Nordosten, Nordwesten, Osten auf Außenflächen 15 vH, Westen, Südosten, Südwesten auf Außenflächen 10 vH,

b) für Eckräume und solche mit einander gegenüberliegenden Außenflächen weitere 5 vH auf alle Außenflächen,

c) für Windanfall auf alle jene Straßenseitenflächen, die dem Windanfall ausgesetzt sind, sowie bei freistehenden Gebäuden auf alle Außenflächen 10 vH,

d) für besonders hohe Räume mit Ausnahme von Treppenhäusern, und zwar für jedes Meter Mehrhöhe über 4 m auf die berechnete Wärmetransmission $2\frac{1}{2}$ vH, aber insgesamt nicht mehr als 20 vH,

e) für Anheizen und Betriebsunterbrechungen, und zwar für ununterbrochenen Betrieb mit Bedienung auch bei Nacht 5 vH, dsgl. ohne Bedienung bei Nacht 10 vH, für täglich unterbrochenen 13- bis 15 stündigen Heizbetrieb einschließlich des Anheizens, das nicht unter drei Stunden anzunehmen ist, 15 vH; für täglich 9- bis 12 stündigen Heizbetrieb, sonst wie vor, 20 vH; für den Betrieb nach längeren Unterbrechungen 30 vH.*)

4. Ausnahmefälle.

Für Räume, die eine bedeutende Größe besitzen, selten und nur kurze Zeit benutzt werden (Kirchen, Hallen usw.), kann die notwendige Wärmemenge nicht aus der Transmission bestimmt werden, sondern gelten nach dem „Leitfaden“ folgende Berechnungen:

a) bei gut verteilter Heizfläche (Anordnung von Raumheizkörpern)

$$W = \frac{F \cdot k (t - t_0)}{2} + F_1 \left[23 + \frac{5(t - t_1)}{Z} \right],$$

b) bei schlecht verteilter Heizfläche (Luftheizung)

$$W = \frac{F \cdot k (t - t_0)}{2} + F_1 \left[40 + \frac{10(t - t_1)}{Z} \right],$$

worin bedeuten:

W die erforderliche stündliche Wärmemenge in WE,

F die Fensterfläche in qm,

F_1 die Fläche sämtlicher Wände, Decken, des Fußbodens, der Säulen usw. in qm,

k die Wärmedurchgangszahl für große einfache Glasfenster = 5,3,

t die verlangte Innentemperatur,

t_1 die Anfangstemperatur beim Anheizen (etwa 0°),

t_0 die niedrigste Außentemperatur,

Z die Anheizdauer in Stunden.

Bei einer Raumhöhe über 12 m ist zu W für jedes weitere Meter 5 vH zuzuschlagen.

B. Außen- und Raumtemperaturen nach A. Z. L. bzw. dem „Leitfaden“.

1. Als tiefste Außentemperatur ist anzunehmen:

für Mittel- und Süddeutschland — 20°

„ Norddeutschland — 25°

*) Diese Zuschläge sind auf die, einschließlich der früher angegebenen Zuschläge ermittelte, Gesamtwärme zu machen.

2. Als tiefste Innentemperatur für unbeheizte Räume ist anzunehmen:
- | | |
|--|-------|
| für ungeheizte, unter der Dachfläche liegende Räume ohne Dachschalung | — 15° |
| dsgl. bei Dachschalung | — 10° |
| für ungeheizte, öfter von der Außenluft bestrichene Räume, wie Durchfahrten, Vorhallen und Vorflure | — 5° |
| für ungeheizte oder nicht täglich geheizte, abgeschlossene Räume im Keller und in den übrigen Geschossen | ± 0° |
3. Als Raumtemperatur t (gemessen in Kopfhöhe 1,5 m über Fußboden) ist einzuhalten für
- | | |
|---|--------------|
| Krankenzimmer | + 22° |
| Geschäfts- und Wohnräume | + 20° |
| Säle, Hörsäle, Hafräume | + 18° |
| Sammlungs- und Ausstellungsräume, Flure, Gänge und Treppenhäuser, je nach Benutzung | + 10 bis 18° |
| Hafräume zum Aufenthalt von Gefangenen bei Tage | + 18° |
| dsgl. bei Nacht | + 10° |
| Gewächshäuser, Kalthäuser | + 15° |
| dsgl. Warmhäuser | + 25° |
| Kirchen | + 10 bis 12° |
| Baderäume für gewöhnliche Bäder | + 22° |
| Ställe | + 15° |

Die Temperatur t' an der Decke des Raumes kann bei Anwendung mäßiger elektrischer Beleuchtung gesetzt werden:

bei vollem Heizbetrieb

$$t' = t + 0,1 t (h - 3), \text{ höchstens } t' = 1,5 t,$$

ohne Heizung

$$t' = t + 0,03 t (h - 3),$$

wenn h die Raumhöhe in m und t die Raumtemperatur in Kopfhöhe bedeuten.

Bei Zentralheizungen (und zwar sowohl bei Dampf- wie auch Warmwasserheizung) können automatische Temperaturregler die Raumtemperatur auf eine beliebige Temperatur konstant einregeln. *)

Bei Heizungsanlagen, insbesondere in größeren Gebäuden, können Fernthermometer, die die Raum- bzw. Zulufttemperatur nach dem Bedienungsraum melden, nicht entbehrt werden. **)

C. Wärmeabgabe von Heizflächen***) und Schutz vor Wärmeabgabe.

1. Allgemeines.

Bezeichnet:

W die für 1 st insgesamt an den Raum abzugebende Wärmemenge in WE,

*) S. Heft II der Mitteilungen der Prüfungsanstalt für Heizungs- u. Lüftungseinrichtungen der Königl. Techn. Hochschule, Oldenbourg, München und Berlin 1910.

**) S. Heft I obiger Mitteilungen unter „Einrichtungen“ der Anstalt.

***) S. unter Wärmeübergang, I. Bd. S. 401.

- F die wärmeabgebende Heizfläche in qm,
 t' die Eintritts-, t'' die Austrittstemperatur des Dampfes, des Wassers oder der Luft aus dem Heizkörper,
 t_z die Temperatur der zuströmenden Luft, bzw bei zwangsläufiger Führung und Anwendung hoher Luftgeschwindigkeiten die mittlere Temperatur der zu- und abströmenden Luft,
 k die Wärmedurchgangszahl, d. i. die stündliche Wärmemenge in WE, die von 1 qm der Fläche F bei 1° Temperaturunterschied zwischen der mittleren Temperatur des Heizmediums und der zuströmenden Luft an die Luft abgegeben wird, so gilt annähernd

$$F = \frac{W}{k \left(\frac{t' + t''}{2} - t_z \right)}.$$

2. Mittlere Werte für k bei Zentralheizungen.*)

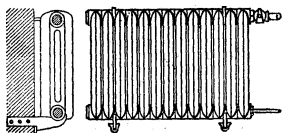
Nach dem „Leitfaden“, in dem noch weitere Werte angegeben sind.

a) Die Bewegung der die Wärme aufnehmenden Luft erfolgt nur durch den natürlichen Auftrieb.**)

α) Wärmeübertragung von Dampf an Luft.

Schmiedeeiserne Rohrschlangen über 25 mm l. W. bis

Abb. 8.



1 m Höhe.	$k = 11,0$
dsgl. über 1 m Höhe.	$k = 9,5$
gußeisernes Rippenrohr mit runden Rippen.	$k = 6,5$
dsgl. Rippenheizkörper mit 3 bis 6 übereinander liegenden runden Rippenrohren.	$k = 4,5 \sim 4,0$
gußeiserne Radiatoren (Abb. 8) über 6 Elemente	$k = 8,0$

β) Wärmeübertragung von Wasser an Luft***)

bei einem Unterschied von 50 bis 60° zwischen der mittleren Wassertemperatur und der zuströmenden Luft.

Schmiedeeiserne Heizschlangen über 25 mm l. W. bis 1 m

Höhe	$k = 8,5$
dsgl. über 1 m Höhe	$k = 7,5$
gußeisernes Rippenrohr mit runden Rippen	$k = 5,0$
dsgl. Rippenheizkörper mit 3 bis 6 übereinander liegenden Rippenrohren	$k = 4,0 \sim 3,0$
gußeiserne Radiatoren über 6 Elemente	$k = 6,5$

*) Die entsprechenden Zahlen für Lokalheizungen, Kessel- und Dampfwarmwasserapparate später.

**) Die Werte von k gelten für ungestrichene Heizkörper bei freier Aufstellung, bzw. weitmächtig oberer Abdeckung, senkrechter Verkleidung und freiem unteren Luftzutritt. Bei Ummantelungen mit senkrechten Gitterflächen und in ihnen befindlichen unteren bzw. oberen breiten Ausschnitten für Luft-Zu- bzw. Abströmung ist k um 10 vH zu erniedrigen. Fehlen die Ausschnitte oder steht der Heizkörper in engen Nischen, kann k bis zu 30 vH abfallen. Dunkle Anstrichfarben vergrößern, helle verringern den Wert von k unwesentlich.

***) Das Wasser hat eine zu vernachlässigende Geschwindigkeit.

γ) Wärmeübertragung von Luft an Luft durch eine dünne metallische Fläche.

Geschwindigkeit der die Wärme abgebenden Luft (Rauchgase)	k bei einem Unterschied zwischen den mittleren Temperaturen beider Luftmengen von		
	20°	40°	60° und mehr
0,5	1,2	1,6	1,8
1,0	2,0	2,6	2,8
2,0	3,1	3,7	3,9
4,0	4,1	4,7	4,9
6,0	4,7	5,3	5,5
10,0	5,3	5,9	6,0

b) Die Bewegung der die Wärme aufnehmenden Luft erfolgt zwangsläufig und mit bestimmter Geschwindigkeit v m/sk (Anwendung von Ventilatoren).

Als Heizkörper werden hierzu verwendet:

α) Radiatoren (Rippenheizkörper möglichst zu vermeiden) in besonderer Aufstellung,*)

β) Sturtevantheizkörper, bei denen Rohre verwendet werden, in denen Dampf oder Warmwasser und senkrecht zu denen die Luft strömt,*)

γ) durch Dampf oder Warmwasser (Rauchgase) geheizte Röhrenkessel, bei denen die Luft durch die Röhren strömt (Abb. 6).

Eingehende Versuche über die Wärmeabgabe und den Druckhöhenverlust (h) (Kraftverbrauch) solcher Einrichtungen sind in der Prüfungsanstalt für Heizungs- und Lüftungs-Einrichtungen an der Königl. Techn. Hochschule Berlin im Gange. 5. Heft 3 der „Mitteilungen dieser Anstalt“, Oldenbourg, Berlin-München 1910.

Vorläufig können angenommen werden:**)

bei Anordnung α (Radiatoren) für

$v =$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5 m/sk ¹⁾
$k =$	12	19	24	29	35 WE
$h =$	0,05	0,15	0,25	0,4	0,6 mm WS,

1) v Luftgeschwindigkeit im Zuluftkanal,

bei Anordnung β (Röhren von 33 mm äußerem Durchmesser, 5 mm Luftspalt und 2 Rohrreihen hintereinander) für

$v =$	1,0	2,0	4,0	7,0	10,0 m/sk ²⁾
$k =$	18	27	41	57	71 WE
$h =$	0,1	0,4	1,3	3,5	6,5 mm WS,

2) v Luftgeschwindigkeit im engsten Querschnitt,

*) Ausführungsformen siehe „Leitfaden“. Tafel 16.

**) Diese Werte gelten für Dampfheizungen und für Warmwasserheizungen unter Anwendung hoher Wassergeschwindigkeiten (Pumpenheizung). Für Schwerkraft-Warmwasserheizungen verringern sich die Werte um maximal 10 vH.

bei Anordnung γ (Röhren von 70 mm l. W. und einer Kessellänge von rd. 1,5 m) für

$v = 1,0$	2,0	4,0	7,0	10,0 m/sk ³)
$k = 5,9$	10,0	17,5	27,0	36,0 WE
$h = 0,15$	0,5	2,0	5,5	11,5 mm WS.

³) v Luftgeschwindigkeit in den Röhren.

3. Schutz vor Wärmeabgabe (Isolierungen).*)

Nach dem „Leitfaden“.

Art der Umhüllung	Wärmeersparnis in vH der Wärmeabgabe des unbedeckten Rohres bei einer Umhüllung von	
	20 mm	30 mm
Strohseil mit Lehm	36	43
Asbestschnur	44	48
Kieselgur, im Mittel	58	62
Dsgl. mit Korkteilchen (Kiesalgurschalen)	69	74
Dsgl. mit organischen Bestandteilen (gebrannt)	74	80
Kunststoffsteinschalen	67	72
Korkscheiden	65	76
Rohseide (Zöpfe) im Mittel	78	81
Filz (bandagiert und mit Dextrin gestrichen)	84	87
Diatomitschalen, 30,7 mm stark, bandagiert, Oelfarbeanstrich	—	67
Dsgl. mit Filz, Nesseltuch	—	77
Diatomitschalen, 51 mm stark, bandagiert, Oelfarbeanstrich	—	76
Dsgl. mit Filz, Nesseltuch	—	82

Dauernd hält sich

bis 100°	Material unmittelbar am Rohr,	
100 bis 120°	10 mm Kieselgurunterstrich, darüber Material,	
120 bis 150°	20 mm Kieselgurunterstrich oder Luftmantel, darüber Material,	
150 bis 200°	Luftmantel, Asbestschicht, Luftmantel, darüber Material.	

D. Lokalheizung.

1. Kaminheizung.

Selten zur Erwärmung von Räumen benutzt.

Nachteile: Wärmeabgabe schwankend, sofortiges Erkalten des ungleichmäßig erwärmten Raumes nach Ablöschen des Feuers, lästige strahlende Wärme, sehr geringer Wirkungsgrad.

*) Siehe auch Wärmeleitungszahlen für Isolierstoffe I. Bd.; Z. d. V. D. I. 1908, S. 539.

2. Ofenheizung.

Man unterscheidet Öfen für:

a) schnelles, aber nicht nachhaltiges Erwärmen der Räume. Material: Gufseisen (Kanonenöfen und dessen Abarten). Nachteile: Glühende Flächen, strahlende Wärme, geringer Wirkungsgrad.

b) schnelles und nachhaltiges Erwärmen der Räume. Material: Gufseisen und gebrannter Ton bzw. gufseiserne Öfen als Einsatz für Kachelöfen. Nachteile: Nachhaltige Erwärmung wird oft nicht erreicht, gufseiserner Einsatz wird glühend.

c) langsames, nachhaltiges Erwärmen der Räume. Material: Ton (Kachel-, Berliner, russische und schwedische Öfen). Vorteile: Große Sauberkeit, keine glühenden Flächen, nicht zu starke strahlende Wärme, sparsamer Betrieb, namentlich bei rechtzeitigem hermetischem Verschluss des Ofens, nachhaltige Erwärmung (Wohnungen). Nachteile: Langsames Anheizen und meistens ungenügende Erwärmung des Fußbodens.

d) **Dauerbrandöfen** (Schütt- und Füllöfen). Material: Gufseisen. Vorteile: Bei mäßigem Dauerbetrieb und Verwendung von Korbrosten werden glühende Flächen vermieden, rasches Anheizen ermöglicht, nachhaltige Erwärmung durch Brennstoffaufspeicherung erzielt; guter Wirkungsgrad. Dieser noch verbessert und gleichmäßigere Wirkung des Ofens erreicht durch Regulierung des Zuges (Regulieröfen). Jene Konstruktionen vorzuziehen, die durch fallende Züge die Feuergase auch nach unten führen (Erwärmung des Fußbodens). (Wohnungen, Schul- und Krankenzimmer.)

e) **Ventilationsöfen**. Öfen mit Mänteln und Luftführung zwischen Mantel und Ofen. Vorteile: Verminderung der strahlenden Wärme, nicht unbedeutende Lüftung. Bedingungen richtiger Bauart: Fehlen glühender Flächen, der Mantel muß zwecks guter Luftführung weit genug abstehen und die Reinigung des Ofens darf nicht behindert sein.

Berechnung der Öfen.

Versuche fehlen, daher bestimmte Angaben nicht möglich. Man kann für Zimmertemperatur die stündliche Wärmeabgabe für 1 qm glatter Ofenfläche schätzen bei Kachelöfen zu 500 bis 600 WE, bei eisernen Öfen zu 2500 WE, bei Dauerbrandöfen zu 1500 bis 1000 WE. Die Wärmeabgabe glatter zu gerippter Ofenheizfläche verhält sich bei gleicher Grundfläche etwa wie 4:5.

3. Kanalheizung.

Horizontale oder ansteigende Kanäle aus Mauerwerk oder Gufseisen, durch die die Verbrennungsgase strömen (Kirchen, Gewächshäuser). Nachteile: unhygienisch und geringer Heizeffekt. Die stündliche Wärmemenge für 1 qm kann angenommen werden: für gemauerte Kanäle zu 1000 WE, für gufseiserne Rippenrohre zu 1500 WE. Die größte Länge eines Rohrzuges soll 35 m nicht übersteigen.

4. Gasheizung.

Vorteile: Größte Reinlichkeit, leichte Regelung der Wärmeerzeugung, sofortiger Eintritt des Beharrungszustandes der Verbrennung, Fortfall

der Wärmeverluste in den Zuleitungen, geringste Reparaturen und Betriebsunterbrechungen.

Nachteile: Hohe Betriebskosten, Explosionsgefahr nicht immer unbedingt ausgeschlossen.

Geeignet zur Verwendung in Sonderfällen bei Räumen, die selten und nur kurz erwärmt werden sollen (auch wenn die anderen Räume Zentralheizung erhalten), oder als „mittelbare Gasheizung“, bei der Warmwasser (Dampf) in Gasöfen bereitet und dann durch die Heizkörper einer normalen Zentralheizung strömt, oder für städtische Gebäude (Schulen), wenn städtische Gaswerke vorhanden sind.

Ueber Bau von Gasöfen s. die vom Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern herausgegebene Anleitung und Handhabung von Gasheizapparaten.*)

Für die Berechnung sind für 1 cbm Leuchtgas 4000 bis 5000 nutzbare WE zu rechnen, hiervon bei Schornsteinanschluss 10 bis 12 vH abzuziehen.

5. Petroleumheizung.

Kommt nur als (namentlich transportable) Hilfsheizung in Betracht. Nachteile: Austreten der Verbrennungsprodukte meistens in die Räume, verhältnismäßig teurer Betrieb, unhygienisch und Explosionsgefahr nicht ausgeschlossen.

6. Elektrische Heizung.

Wegen der hohen Betriebskosten nur in Ausnahmefällen zu verwenden, z. B. für elektrische Bahnen, kleinere Heizapparate in Krankenhäusern oder in Fällen, wo aus Wasserkraften gewonnene Elektrizität zur Verfügung steht.

Berechnung der frei werdenden Wärme nach dem Jouleschen Gesetz (s. d.).

Ausführung der Heizapparate als Freidrähte, isolierte, zu einzelnen Heizzellen zusammengesetzte Widerstände und als Glühkörper.

E. Zentralheizungen.

1. Allgemeines.

Vorteile: Verlegung der Feuerungs- und Bedienungsstellen an einen einzigen Ort (Keller), Wegfall jeglichen Kohle- und Aschetransportes in den Räumen, Erzielung regelbarer und gleichmäßiger Raumtemperaturen, Vermeidung von Zugerscheinungen, Ermöglichung ökonomischer Betriebe, rauchschwacher Feuerungen und damit Verringerung der Rauch- und Rufsplage in den Städten.

2. Warmwasserheizung.

Heizkörper im allgemeinen höher als der Kessel, Rohrleitungen wegen Entlüftung von letzterem stetig bis zum Expansionsgefäß ansteigend.

*) R. Oldenbourg, München und Berlin.

Man unterscheidet „Niederdruck-Warmwasserheizung“ (N. D. W. H.) mit offenem Ausdehnungsgefäß und Wassertemperaturen bis 100° und „Mitteldruck-Warmwasserheizung“ (M. D. W. H.) mit einem mit geschlossenem bzw. belastetem Ventil versehenen Ausdehnungsgefäß (oder Windkessel) und Wassertemperaturen bis 120°. Sonst unterscheiden sich beide Systeme grundsätzlich nicht, jedoch wird die M. D. W. H. wegen ihrer hygienischen und sonstigen Nachteile selten ausgeführt. Nachstehendes bezieht sich daher auf die N. D. W. H.

a) Gewöhnliche oder Schwerkraft-Warmwasserheizung.

Vorteile: Oberflächentemperatur der Heizkörper unter 100° (meistens unter 85°), daher keine Staubversengung, milde, gleichmäßige Wärmeabgabe, hygienisch einwandfrei, generelle Regelung, Geräuschlosigkeit, sparsamer Betrieb, große Haltbarkeit.

Nachteile: Größere Wärmespeicherung, daher langsames Hochheizen, langsames Erkalten, hohe Anlagekosten.

Anwendung: Wohngebäude, Schulen, Krankenhäuser, Verwaltungsgebäude, Museen, Geschäftshäuser usw.

Kessel: Bei kleineren Anlagen gusseiserne Gliederkessel*) (Abb. 9), im Fall mehrere (bis etwa 5) in batterieartiger Anordnung, darüber hinaus schmiedeeiserne Kessel, möglichst im Größenverhältnis 1:2 oder 2:3 unterteilt. Automatische Verbrennungsregler zur Einhaltung bestimmter und von Hand einstellbarer Wassertemperaturen.

Die Kesselheizfläche rechnet sich:

α) für ununterbrochenen Betrieb:

$$F = \frac{1,1 W}{K},$$

worin

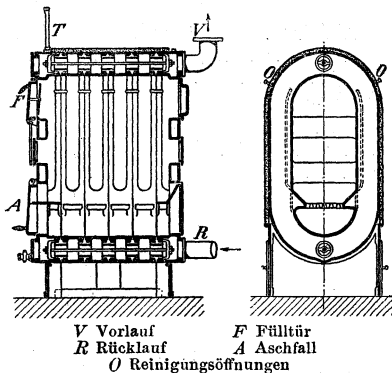
F die Kesselheizfläche in qm,

W die bei der betreffenden Temperatur ermittelte gesamte stündliche Transmissionswärme des Gebäudes (jedoch ohne Anheizzuschlag) in WE,

K die stündliche Kesselbelastung für 1 qm Heizfläche im Beharrungszustand (Rauchgastemperatur 180 bis 200°) bedeutet. Für Flammrohr- und gusseiserne Kessel kann K im Mittel zu 7000 bis 8000 WE/st angenommen werden.

*) In neuester Zeit führt das „Strebelwerk Mannheim“ gusseiserne Großkessel bis 240 qm Heizfläche aus.

Abb. 9.



β) für unterbrochenen Betrieb:

Bezeichnet außer obigen Benennungen

Z den Anheizzuschlag in WE,

A den Wasserinhalt der ganzen Anlage in kg,

B das Eisengewicht der Anlage in kg,

z die Anheizdauer in Stunden,

v die Temperatur, bis auf welche die Anlage während der Nacht abgekühlt ist (etwa 30°),

t die mittlere Wassertemperatur im Beharrungszustand,

K_1 die stündliche Kesselbelastung für 1 qm Heizfläche während des Anheizens (Rauchgastemperatur rd. 300°). Für Flammrohr- und gußeiserne Kessel kann K_1 im Mittel zu 10 000 WE geschätzt werden, so ist

$$F = \frac{1,1 [(W + Z) z + (A + 0,12 B) (t - v)]}{z K_1}$$

Heizkörper s. S. 439 u. f. Sie sind mit Ventilen zu versehen, die eine doppelte Einstellung ermöglichen. Diese dient erstens zur einmaligen Einregelung der Anlage und zweitens zur jeweiligen Regelung der Heizkörper selbst.

Rohrleitung. *) Die folgenden Tabellen beziehen sich auf das vom Röhrensyndikat an Mitglieder des „Verbandes Deutscher Zentralheizungs-Industrieller“ gelieferte „Verbandsrohr“.

Rohrdurchmesser		Gewicht	Inhalt	Aufsenfläche
lichter d	äufserer D			
m	m	kg	l	qm

A. Muffenrohr.**)

0,011	0,016	0,88	0,095	0,0503
0,014	0,020	1,26	0,153	0,0628
0,020	0,026	1,87	0,314	0,0817
0,025	0,033	2,68	0,491	0,1037
0,034	0,042	3,74	0,908	0,1320
0,039	0,048	4,62	1,195	0,1508
0,043	0,052	5,06	1,452	0,1634
0,049	0,059	6,38	1,886	0,1854
0,065	0,076	9,10	3,318	0,2388

B. Flanschenrohr.**)

0,057	0,063	4,45	2,552	0,1979
0,064	0,070	4,90	3,217	0,2199
0,070	0,076	5,35	3,848	0,2388
0,076	0,083	6,35	4,536	0,2608
0,082	0,089	6,78	5,281	0,2796
0,088	0,095	7,30	6,082	0,2985

*) S. a. I. Bd.

**) Dimensionen abgerundet.

Rohrdurchmesser		Gewicht	Inhalt	Aufsenfläche
lichter d	äufserer D			
m	m	kg	l	qm
0,094	0,102	9,01	6,940	0,3204
0,100	0,108	9,56	7,854	0,3393
0,106	0,114	10,10	8,825	0,3581
0,113	0,121	11,46	10,029	0,3801
0,119	0,127	12,03	11,122	0,3990
0,131	0,140	14,10	13,478	0,4398
0,143	0,152	16,22	16,061	0,4775
0,156	0,165	17,65	19,113	0,5184
0,169	0,178	19,08	22,432	0,5592
0,192	0,203	26,60	28,953	0,6377
0,216	0,229	35,30	36,644	0,7194
0,241	0,254	39,50	45,617	0,7980
0,264	0,279	49,60	54,739	0,8765
0,290	0,305	54,70	66,052	0,9582

Berechnung der Rohrleitung. *)

I. Einrohrsystem.

Bezeichnungen nebst den aus Abb. 10 ersichtlichen Benennungen:

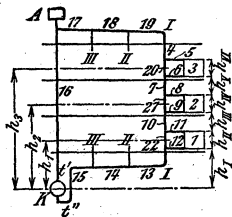
- | | |
|--|--|
| $d_1, d_2, d_3 \dots$ die lichten Durchmesser in m | } in der
bezüglichen
Rohrstrecke
bzw. dem
bezüglichen
Heizkörper, |
| $t_1, t_2, t_3 \dots$ die Wassertemperaturen in $^{\circ}\text{C}$ | |
| $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \dots$ die dieser Temperatur entsprechende Dichtigkeit des Wassers in kg/cbm | |
| $v_1, v_2, v_3 \dots$ die sekundliche Geschwindigkeit in m | |
| $Z_1, Z_2, Z_3 \dots$ die Summe aus einmaligen und Reibungswiderständen | |
| $W_1, W_2, W_3 \dots$ die stündliche Wärmeabgabe der Heizkörper $H_1, H_2, H_3 \dots$ | |
| t' die Vorlauf-, t'' die Rücklauftemperatur, | |
| γ', γ'' die bezüglichen Dichtigkeiten des Wassers, | |
| $W_I, W_{II}, W_{III} \dots$ die Gesamtwärmemengen, die durch die Fallstränge I, II, III . . . zu führen sind. | |

Temperaturen:

Gewählt werden: t' 80 bis 90°
 t'' 60 bis 70° .

*) Nach den neuesten Erfahrungen sind die einmaligen und Reibungswiderstände, die hier in Frage kommen, teilweise größer als zurzeit angenommen wird. Aus diesem Grund erfolgt die Berechnung ohne Berücksichtigung der Abkühlung der Rohrleitung, weil hierdurch Verhältnisse geschaffen werden die erfahrungsgemäß die oben erwähnten Unsicherheiten ausgleichen. [Genaue Berechnung, ebenso den Sonderfall „Etagenheizung“ (Heizkörper und Kessel in gleicher Horizontalebene) s. „Leitfaden“.] Neue Forschungen über die einmaligen und Reibungswiderstände in Warmwasserleitungen sind in der Prüfungsanstalt für Heizungs- und Lüftungseinr. d. Kgl. Techn. Hochschule Berlin im Gange.

Abb. 10.



A Ausdehnungsgefäße
 K Kessel
 1, 2, 3 Heizkörper
 I, II, III Fallstränge.

Ferner ist (als gute Annahme) zu setzen:

$$t' - t'' = t_5 - t_6 = t_8 - t_9 = t_{11} - t_{12}.$$

Weiter gilt:

$$t_4 = t_5 = t_{19} = t_{18} = t_{17} = t_{16} = t' \\ t_{13} = t_{14} = t_{15} = t'',$$

zu berechnen sind die Mischtemperaturen:

$$t_7 = t' - \frac{W_3 (t' - t'')}{W_1 + W_2 + W_3} \\ t_{10} = t' - \frac{(W_2 + W_3) (t' - t'')}{W_1 + W_2 + W_3}.$$

Wirksame Druckhöhen H . Begonnen wird mit dem ungünstigst gelegenen Strang (bzw. Heizkörper), d. i. Strang I

$$H_I = \frac{h_I \gamma'' + h_{II} \gamma_1 + h_{III} \gamma_{10} + h_{IV} \gamma_2 + h_V \gamma_7 + h_{VI} \gamma_8 - (h_I + h_{II} + \dots h_{VI}) \gamma'}{\gamma' + \gamma''}.$$

Summe der Widerstandshöhen $H_w = H$.

α) Stromkreis der Heizkörper des Stranges I.

16, 17, 18, 19, 4, 5, 3, 6, 7, 8, 2, 9, 10, 11, 1, 12, 13, 14, 15.

$$H_{wI} = H_I = \frac{v_1^2}{2g} Z_1 + \frac{v_2^2}{2g} Z_2 + \frac{v_3^2}{2g} Z_3 + \frac{v_4^2}{2g} Z_4 + \frac{v_5^2}{2g} Z_5 + \dots \\ + \frac{v_{19}^2}{2g} Z_{19}. \quad \dots \dots \dots \text{IV)}$$

Berechnung der **Durchmesser**. Zu setzen: $v_1 = v_2 = v_3 = 0$

$$d_4 = d_7 = d_{10} = d_{13} = d_{19} = d_x.$$

Anzunehmen: $d_{14}, d_{15}, d_{16}, d_{17}, d_{18}$ — Durchmesser der Hauptleitungen — (wesentlich durch Tabelle 14 des „Leitfadens“ erleichtert).

Zu wählen:

$$d_5 = d_6 = 0,0005 \sqrt{W_3} \\ d_8 = d_9 = 0,0005 \sqrt{W_2} \\ d_{11} = d_{12} = 0,0005 \sqrt{W_1}.$$

Zu rechnen: Wenn $A = 2\,753\,700$ gesetzt wird

$$v_4 = v_7 = v_{10} = v_{13} = v_{19} = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{A d_x^2 (t' - t'')} = v_x. \quad \dots \text{V)}$$

$$v_5 = v_6 = \frac{W_1}{A d_5^2 (t_5 - t_6)}, \quad v_8 = v_9 = \frac{W_2}{A d_8^2 (t_8 - t_9)} \text{ usw.}$$

$$v_{14} = \frac{W_I + W_{II}}{A d_{14}^2 (t' - t'')}, \quad v_{15} = \frac{W_I + W_{II} + W_{III}}{A d_{15}^2 (t' - t'')} \text{ usw.}$$

Nun sind alle Geschwindigkeiten bis auf v_x bekannt. Weiter sind durch Benutzung der unten angegebenen Werte von Z alle Größen $\frac{v^2}{2g} \cdot Z$ zu bestimmen (außerordentlich durch Tabelle 17 des „Leitfadens“ erleichtert) und endlich aus Gleichung IV d_x durch Probieren so zu finden, daß auch Gleichung V befriedigt wird. Ebenso für die

anderen Stränge, nur sind für diese schon teilweise Geschwindigkeiten (z. B. v_{14} , v_{15} usw.) bekannt.

β) Stromkreis der Umgehungsleitungen, z. B. für Heizkörper 1, 1, 12, 22, 11

$$\frac{h_{11} \gamma_{22}}{\gamma' + \gamma''} - \frac{v_{22}^2}{2g} Z_{22} = \frac{h_{11} \gamma_1}{\gamma' + \gamma''} \left(\frac{v_{11}^2}{2g} Z_{11} + \frac{v_1^2}{2g} Z_1 + \frac{v_{12}^2}{2g} Z_{12} \right) \quad \text{VI}$$

$$v_{22} = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{A d_{22}^2 (t' - t'')} - \frac{W_1}{A d_{22}^2 (t_{11} - t_{12})} \quad \text{VII}$$

Hierin ist $v_1 = 0$; $v_{11} = v_{12} = 0,0005 \sqrt{W_1}$; $t_{22} = t_{10} = t_{11}$.

Nun ist ebenso wie oben (nötigenfalls unter Benutzung der Tabellen 17 des „Leitfadens“) d_{22} aus Gleichung VI durch Probieren so zu finden, daß auch Gleichung VII erfüllt wird.

Reibungs- (R) und einmalige Widerstände (ξ).

$$Z = R + \Sigma \xi = \frac{\rho}{d} l + \Sigma \xi \quad \rho = 0,0144 + \frac{0,00947}{\sqrt{v}}^*)$$

ξ für rechtwinkliges Knie	1,0
„ „ rundes Knie	0,5
„ „ Krümmer (Retourbogen)	0,8
„ „ Heizkörper (Kessel; zu beziehen auf die Anschlußleitung und dort als einmaliger Widerstand anzusetzen)**)	1 bis 3
„ „ geöffnete Ventile, je nach Konstruktionen***)	2 „ 17
„ „ geöffnete Hähne	0,1 „ 1
„ „ geöffnete Schieber mit freiem Durchgang	0 „ 0,5
„ „ Bogen, deren Radius größer ist als der 5fache Durchmesser	0

II. Zweirohrsystem.

Bezeichnungen. Nebst den aus Abb. 11 ersichtlichen wie unter I, nur entfallen die Temperaturen t_1 , t_2 und die Dichtigkeiten γ_1 , γ_2

Temperaturen: t' 80 bis 90°
 t'' 60 bis 70°

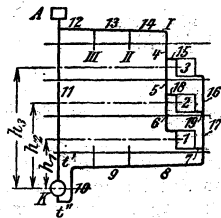
Wirksame Druckhöhen H . Begonnen wird mit dem ungünstigst gelegenen Heizkörper:

$$\begin{aligned} H_1 (\text{für Heizkörper 1}) \quad H_1 &= a h_1 \quad a = \frac{\gamma'' - \gamma'}{\gamma' + \gamma''} \\ H_2 (\text{„ 2}) \quad H_2 &= a h_2 \\ \text{usw.} \end{aligned}$$

*) Ausgerechnete Werte siehe I. Bd., Widerstandszahlen. Sowohl für ρ wie auch für ξ dürfte eines der nächsten Hefte der „Mitteilungen“ der Prüfungsanstalt für Heizungs- und Lüftungseinrichtungen der Königl. Techn. Hochschule Berlin neue Werte bringen.

**) Bei Heizkörpern aus Rohrschlangen ist der Widerstand nach $\frac{v^2}{2g} \frac{\rho}{d} l$ zu rechnen.
 ***) Siehe I. Bd., Widerstandszahlen.

Abb. 11.



A Ausdehnungsgefäß
 K Kessel
 1, 2, 3 Heizkörper
 I, II, III Fallstränge.

Summe der Widerstandshöhen $H_w = H$.

Stromkreis des Heizkörpers 1.

$$H_{w1} = ah_1 = \frac{v_1^2}{2g} Z_1 + \frac{v_7^2}{2g} Z_7 + \frac{v_8^2}{2g} Z_8 + \dots + \frac{v_{14}^2}{2g} Z_{14} \\ + \frac{v_4^2}{2g} Z_4 + \frac{v_5^2}{2g} Z_5 + \frac{v_6^2}{2g} Z_6 \dots \dots \dots \text{VIII}$$

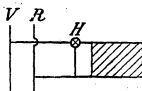
Berechnung der **Durchmesser**. Zu setzen: $v_1 = 0$, $d_4 = d_{14}$,Anzunehmen: $d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{14}$ — Hauptleitungen — (erleichtert durch Tabelle 14 des „Leitfadens“).Zu wählen: $d_6 = d_7 = 0,0004 \sqrt{W}$ (gültig für den ungünstigsten Heizkörperanschluss bei mittelgroßen Anlagen und oberer Verteilung). Die anderen Heizkörperanschlüsse (15, 16, 18, 19) sind zu schätzen.Nun sind ebenso wie früher unter Einsetzung all dieser Werte und Benutzung der Angaben für Z die Produkte $\frac{v^2}{2g} Z$ zu ermitteln (außerordentlich erleichtert durch Tabelle 17 des „Leitfadens“) und in Gleichung VIII einzusetzen.Unbekannt sind noch d_5 und d_{17} . Diese sind durch Probieren so zu ermitteln, dass auch die folgenden Gleichungen IX erfüllt werden.

$$v_5 = \frac{W_1 + W_2}{Ad_5^2(t' - t'')}, \quad v_{17} = \frac{W_2 + W_3}{Ad_{17}^2(t' - t'')} \dots \dots \dots \text{IX}$$

Ebenso für die anderen Heizkörper, nur dass hierbei schon eine größere Anzahl bekannter Durchmesser vorliegt.

Besondere Ausführung der Zweirohrsystem-Anordnung durch Kurzschlussverbindung zwischen Heizkörper-Vor- und Rücklauf mittels eines Dreiweghahnes H (Abb. 12).

Abb. 12.



H Dreiweghahn
 V Vorlauf
 R Rücklauf

b) Schnellstrom- oder Schnellumlaufeheizung. *)

Durch Zumischen von Dampf oder Luft in das Vorlaufwasser werden große wirksame Druckhöhen erzielt, so dass Heizkörper auch tiefer als der Kessel stehen können und die Rohrleitungen enger (billiger) werden als bei der gewöhnlichen Schwerkraftheizung.

Anwendung. Aus verschiedenen wichtigen Gründen (hygienische Erwägungen, schwere Regulierarbeit, Notwendigkeit der Verwendung von Spezialapparaten usw.) nur für Sonderfälle, bei denen die Erwärmung tiefer als der Kessel gelegener Räume anders nicht möglich ist (etwa durch Anordnung höher als der Kessel gelegener Heizkörper im selben Strang, Aufstellung des Heizkörpers unter der Decke und zwangsläufige Führung der Luft bis an den Fußboden) und Pumpen vermieden werden sollen.

Heizkörper. Wie unter a.

*) Ueber ihre Ausführungsformen, Kessel und Apparate siehe Meter, Gesundheitsingenieur 1907.

Berechnung. Dieselbe wie unter a, nur ändern sich die wirk-samen Druckhöhen, sind verschieden bei den einzelnen Systemen und werden von den bezüglichen Spezialfirmen angegeben.

c) Pumpenheizung.

Durch Einschalten einer mechanisch betriebenen Pumpe in den Rücklauf werden dieselben Vorteile wie unter b erzielt, jedoch bleiben im Gegensatz zu b die hygienischen Vorteile der gewöhnlichen Warm-wasserheizung, die Möglichkeit leichter und auch genereller Regelung, die lange Lebensdauer usw. uneingeschränkt bestehen.

Anwendung. Für einzelne Gebäude als Sonderfall, wenn die Heiz-körper tiefer stehen als der Kessel, für ganze Gebäudegruppen als Fernwarmwasserheizung, siehe diese.

Kessel und Heizkörper. Wie unter a.

Berechnung. Für einzelne Gebäude wie unter a nur werden die wirksamen Druckhöhen H um den nutzbaren Pumpendruck H_p ver-größert. Für Fernwarmwasserheizung siehe diese.

d) Heißwasser- (Perkins-) Heizung.

Allgemeines.

Besteht aus einer in sich geschlossenen Rohrleitung von 0,023 m innerem und 0,033 m äußerem Durchmesser, von der ein Teil im Feuer liegt (Kessel), ein zweiter Teil im Raum (Heizkörper) und der dritte Teil die verbindende Rohrleitung zwischen beiden bildet.

Wassertemperatur normal 150° (6 at abs.).

Anwendungsgebiet. Zur Zeit nurmehr ganz selten angewendet (in Kirchen), wird erfolgreich durch Niederdruckdampfheizung ersetzt. Sonst noch in Trockenanlagen.

Berechnung. Mit Rücksicht auf die seltene Ausführung wird dies-bezüglich auf den „Leitfaden“ verwiesen.

3. Dampfheizung.

a) Niederdruckdampfheizung.

Dampfspannung 1,05 bis 1,1 — selten bis 1,2 at abs.

Vorteile: Geringe Wärmeaufspeicherung, schnelles Hochheizen, ge-ringere Anlagekosten als bei Warmwasserheizung.

Nachteile: Heizflächentemperatur rd. 100° (Staubversengung), Un-möglichkeit genereller Regelung, Geräusch, Korrosion der schmied-eisernen Kondensleitungen.

Anwendungsgebiet: Theater, Versamlungs- und Festsäle, Hotels, Kirchen usw.

Kessel. Nicht konzessionspflichtig, wenn mit einem Standrohr versehen, das höchstens 5 m über Wasserstand endigt und im all-gemeinen 80 mm weit ist. Für Preußen gilt:

Kesselheizfläche		Lichter Durchmesser des Standrohres	
bis zu	4 qm	mindestens	25 mm
„ „	5 „	„	45 „
„ „	6 „	„	50 „
„ „	7,5 „	„	55 „

Kesselheizfläche	Lichter Durchmesser des Standrohres
bis zu 8,5 qm	mindestens 60 mm
„ „ 10 „	„ 65 „
„ „ 11,5 „	„ 70 „
„ „ 13 „	„ 75 „
über 13 „	„ 80 „

Ausführung der Kessel im allgemeinen wie bei der Niederdruck-Warmwasserheizung, jedoch Anwendung automatischer Verbrennungsregler zur Einhaltung konstanter Spannungen und Anordnung von Dampfdomen zur Erzielung möglichst trocknen Dampfes.

Berechnung der Kessel wie bei der Wasserheizung, jedoch ist K zu 8000 bis 9000 WE/st, K_1 zu 12 000 WE/st anzunehmen.

Heizkörper s. S. 439, wie unter 2. Manchmal mit Luftumwälzung (im Heizkörper ist dann ein Dampf-Luftgemisch) eingerichtet, um die Oberflächentemperatur unter 100° herabzudrücken.

Rohrleitung. Abmessungen s. S. 446. Entwässerung durch Wasserscheifen, die das Abfließen des Kondensats ermöglichen, aber das Durchschlagen des Dampfes verhindern.

Berechnung. Bezeichnet:

W die stündlich am Ende eines Rohres geforderte Wärmemenge in WE (Q die entsprechende Dampfmenge),

W' die stündlich durch Wärmeabgabe des Rohres bedingten Wärmeverluste in WE, für gut umhülltes Rohr $W_1 = 1000 D l$, für nicht umhülltes Rohr $W_1 = 3000 D l$ (Q' die entsprechende Dampfmenge),

p_2 bzw. p_1 den abs. Anfangs- bzw. Enddruck des Dampfes im Rohr in kg/qm,

d den inneren, D den äußeren Rohrdurchmesser in m,

l die Länge des Rohres in m,

$\Sigma \xi$ die Summe der einmaligen Widerstände,

p den Spannungsabfall für die Ueberwindung der einmaligen Widerstände in kg/qm,

so ist

a) ohne Berücksichtigung der einmaligen Widerstände:

$$p_2 - p_1 = \frac{l W (W + W')}{(1000 d)^5} \dots \dots \dots X)$$

$$d = 0,001 \sqrt[5]{\frac{l W (W + W')}{p_2 - p_1}} \dots \dots \dots XI)$$

b) bei ihrer Berücksichtigung ist die rechte Seite der Gleichung X um

$$p = \frac{(W + W') \Sigma \xi}{(2330 d)^4} \dots \dots \dots XII)$$

zu vergrößern und in Gleichung XI statt $p_2 \dots p_2 - p$ zu setzen.

Als Anfangsdruck für gusseiserne Radiatoren ist maximal 10 kg/qm anzunehmen, für Rohrschlangen der Anfangsdruck p' in kg/qm wie folgt zu rechnen:

$$p' = \frac{0,33047 W_H^3}{d^5 D H} \quad \dots \dots \dots \text{XIII})$$

worin W_H die stündliche Wärmeabgabe der Rohrschlange bedeutet.

Der Anfangsdruck am Heizkörper (z. B. 10 kg/qm) ist gleich dem Enddruck in der Rohrleitung, während deren Anfangsdruck gleich dem Betriebsdruck der Heizung, also 500 bis maximal 2000 (besser 1000) kg/qm, zu setzen ist. Dividiert man die bezügliche Druckdifferenz durch die Länge des (ungünstigsten) Rohrzuges, so erhält man den Druckabfall für 1 lfd. m, der gegebenenfalls nach dem Kessel zu auch gesteigert werden kann.

Dieser für $(p_2 - p_1)$ in Gleichung XI eingesetzt, ergibt bei bekanntem Wert von W , für $l = 1$ und Schätzung von W' den fraglichen auf Handelsmafs aufzurundenden Durchmesser,

Wesentlich einfacher ist die Annahme der Durchmesser nach Tabelle 23 des „Leitfadens“.

In allen Fällen sollten, um Geräuschlosigkeit der Anlage zu sichern, bei nun bekannten Rohrleitungen rückwärts bis zum Kessel die Betriebsspannung nach Gleichung X ermittelt bzw. die Abzweigstränge nach Gleichung XI korrigiert werden. Die einmaligen Widerstände können dann nach Gleichung XII (Tabelle 24 des „Leitfadens“) Berücksichtigung finden, wobei in die Gleichungen X und XI statt $p_2 \dots p_2 - p$ einzusetzen ist.

Wesentlich ist die Annahme nicht zu grofser Spannungsabfälle für senkrechte Stränge, die zu isolieren und am Fusse zu entwässern sind.

Einmalige Widerstände. Es können dieselben Werte wie für Wasserheizung (s. d.) angenommen werden.

Niederschlagswasserleitungen.

Bei trockenen Niederschlagswasserleitungen ist keine, bei nassen (d. i. stets mit Wasser gefüllten) Leitungen besondere Entlüftung der Stränge bzw. Heizkörper nötig.

Für senkrechte Leitungen $d_1 = 0,5 d$,

„ wagerechte „ $d_1 = 0,7 d$,

wenn d den lichten Durchmesser der Dampfleitung, d_1 den lichten Durchmesser der zugehörigen Kondensleitung bedeutet (s. a. Tabelle 25 des „Leitfadens“).

Bei Sammeln des Kondensats in einer Zisterne, Hochheben desselben in ein Reservoir und Abflufs aus diesem durch natürliches Gefälle ist die bezügliche Leitung wie eine einfache Wasserleitung

$$\left[h = \frac{v^2}{2g} \left(1 + \frac{\rho}{d} l + \Sigma \right) \right]$$

zu berechnen.

b) Hochdruckdampfheizung.

Dampfspannung für Raumheizung 1,5 bis 2 at abs., für Fernheizungen 7 bis 9 at abs.

Vorteile. Wärmeübertragung auf weite Strecken.

Nachteile. Heizflächentemperatur über 100° (trockene Destillation des Staubes), Unmöglichkeit der Regelung, Geräusch.

Anwendungsgebiet. Unmittelbare Erwärmung von Räumen nur in Sonderfällen (Fabrikräumen) sonst für den Ferntransport der Wärme (Fernheizungen s. diese).

Kessel s. II. Bd.

Heizkörper s. Warmwasserheizung.

Rohrleitung. Abmessungen S. 446. Entwässerung durch Kondensstöpfe, die das Abfließen des Kondensats zulassen, jedoch das Durchschlagen des Dampfes verwehren.*)

Berechnung. Sinngemäß wie bei Niederdruckdampf (Tabelle 22 des „Leitfadens“), nur mit dem Unterschied, daß der Spannungsabfall für das laufende Meter nach dem Kessel gesteigert wird. Ist der Spannungsabfall gewählt, sonach für jede Länge l der Unterschied zwischen Anfangs- und Enddruck $p_2 - p_1$ bekannt, so haben folgende Formeln Geltung:

Ohne einmalige Widerstände

$$d = 0,088 \sqrt[5]{\frac{l Q (Q + Q')}{(p_2 - p_1) (p_2 + p_1 + 6120)}} \quad \dots \dots \text{XIV}$$

$$p_2 - p_1 = \sqrt{\frac{52830 l}{(100 d)^5} [Q (Q + Q') + (p_1 + 3060)^2 - 3060]} \quad \text{XV}$$

für die einmaligen Widerstände gilt:

$$p = \frac{(Q + Q')^2 \Sigma \xi}{(111,9 d)^4 \gamma} \quad \dots \dots \text{XVI}$$

ferner für alle 3 Gleichungen

$$Q = \frac{W}{\lambda}; \quad Q' = \frac{W'}{\lambda_m} = m D l$$

worin λ bzw. λ_m die Verdampfungswärme bezogen auf die Eintrittsspannung bzw. auf die mittlere Dampfspannung bedeutet und m gesetzt werden kann: bei ungeschützten Rohrleitungen bis etwa 5 at abs. $m = 10$, bei gut vor Wärmeabgabe geschützten Rohren $m = 2,1$.

Auch hier ist die Kontrollrechnung nach dem Kessel zu (bzw. für die Abzweigstränge) wichtig, wobei unter Berücksichtigung der einmaligen Widerstände in die Gleichungen XIV und XV statt $p_2 \dots p_2 - p$ (s. Gleichung XVI) einzusetzen ist.

Einmalige Widerstände und Niederschlagswasserleitung wie bei der Niederdruckdampfheizung.

4. Dampfwarmwasserheizung.

Gewöhnliche Warmwasserheizung, bei der die Erwärmung des Heizwassers in besonderen Apparaten (Dampfwarmwasser-

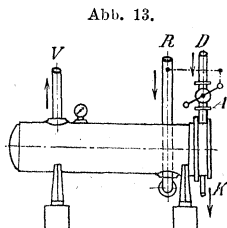


Abb. 13.

A Automatischer Temperaturregler

D Dampfleitung

K Kondensleitung

V Warmwasser-Vorlaufleitung

R Warmwasser-Rücklaufleitung.

*) Mitteilungen der Prüfungsanstalt f. Heizungs- und Lüftungseinrichtungen. Heft 2. Oldenbourg, München und Berlin 1910;

kessel, Gegenstromapparaten) durch Frischdampf oder Abdampf erfolgt (Abb. 13).

Bei Berechnung dieser Apparate kann für den stündlichen Wärmeübergang (K) von Dampf an Wasser für 1 qm Heizfläche und für 1° Temperaturdifferenz zwischen den mittleren Temperaturen beider Medien gesetzt werden:

a) $K = 300 + 1800 \sqrt{v}$, wenn v die sicher zu ermittelnde Wassergeschwindigkeit (zwischen 0,5 und 2 m/sk) bedeutet,

b) $K = 1000$ bis max. 1500, wenn v nicht sicher bestimmt werden kann.

Der Druckabfall in den Dampfschlangen des Apparates ist für Niederdruckdampf nach Gleichung XIII, für Hochdruckdampf unter Annahme der unter 3 gegebenen Bezeichnungen nach Gleichung XVII zu rechnen

$$p_2 - p_1 = \sqrt{\frac{17\,610\,l}{(100\,d)^5} Q'^2 + (p_1 + 3060)^2} - 3060 \quad \text{XVII}$$

wobei Q' die stündlich zu übertragende Wärmemenge bedeutet.

5. Dampfwasserheizung.

Dampfheizung, bei der die Heizkörper, um entsprechende Wärmespeicherung zu ermöglichen, teilweise oder ganz mit Wasser gefüllt sind. Wird fast nicht mehr angewendet.

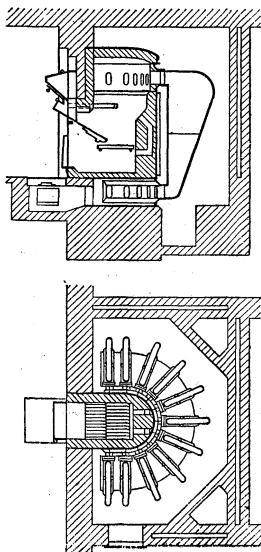
6. Luftheizung.

Erwärmung der Räume durch eingeführte warme Luft, und zwar stets Frischluft; nur in besonderen Fällen (Hallen, Korridore, Treppenhäuser, Anheizen von Kirchen) kann die Luft dem Raum selbst entnommen werden (Zirkulations-Luftheizung).

Die Lufterwärmung erfolgt entweder durch unmittelbar von Feuer (Feuerluftheizung, Abb. 14) oder durch mittelbar von Dampf bzw. Wasser (Dampf- bzw. Wasserluftheizung) erwärmte Heizapparate. In letzterem Falle öfters unter Verwendung von Ventilatoren.

Anwendungsgebiet. Feuerluftheizungen nur dann, wenn die Temperaturen der Heizflächen nicht wesentlich mehr als 100°, die Temperatur der in den Raum einströmenden Luft nicht über 50° beträgt, wenn der Heizapparat zugänglich ist, gute Ausdehnungsfähigkeit, leichte Reinigung von Staub, Ruß und Asche (letzteres nur von außerhalb der Heizkanäle) ermöglicht, und wenn auch bei Windanfall eine genügende Erwärmung aller Räume gesichert scheint.

Abb. 14.



Wasser- oder Dampfheizungen, bei denen unter richtiger Anordnung, gegebenenfalls unter Verwendung von Ventilatoren alle obigen Bedingungen erfüllt werden, können meist unter Aufstellung besonderer örtlicher Dampf- bzw. Warmwasserheizkörper zur Erwärmung von Theatern, Sitzungssälen, Restaurationen usw. empfohlen werden.

Größe der Heizfläche. Bezeichnet:

L_H die gesamte stündliche Luftmenge, die dem Heizapparat behufs Erwärmung zuzuführen ist in cbm der tiefsten Außentemperatur, d. i. t_0^0 ,

t_H die Temperatur, auf die die Luftmenge zu erwärmen ist,

W' die stündlich vom Heizapparat zur Erwärmung dieser Luft abzugebende Wärmemenge in WE,

so ist

$$W' = \frac{0,306 L_H}{1 + \alpha t_0} (t_H - t_0).$$

Ist durch den Heizapparat auch eine bestimmte Wassermenge zur Befuchtung der Luft zu verdampfen, so ist W' um W'' zu erhöhen.

$$W'' = A Q = \frac{L}{100} \left(p g - \frac{1 + \alpha t_0}{1 + \alpha t} p_0 g_0 \right).$$

Darin bedeuten:

Q die Summe aus Flüssigkeits- und Verdampfungswärme, die dem zu erwärmenden Wasser bis zur Verdampfung (etwa bei 40 bis 50°) zuzuführen ist,

L den gesamten in den Räumen bei der niedrigsten Außentemperatur t_0 erforderlichen Luftwechsel, gegeben in cbm und Raumtemperatur t ,

p bzw. p_0 die relative Feuchtigkeit der Innen- bzw. Außenluft (in der Regel zu setzen $p = 50$, $p_0 = 80$),

g bzw. g_0 die Wassermengen in kg, die 1 cbm Luft von der Temperatur t bzw. t_0 bei voller Sättigung enthält (s. I. Bd.).

Die Werte für A enthält Tabelle 6 des „Leitfadens“.

Bezeichnet ferner:

F die Heizfläche des Heizapparates in qm,

q die von dem Feuerluftheizapparat für 1 qm und Stunde abgegebene Wärme,

k die Warmedurchgangszahl für Dampf- bzw. Warmwasserheizkörper,

tm die mittlere Temperatur des Dampfes bzw. Wassers,

tm' die mittlere Temperatur der dem Heizkörper zu- bzw. abströmenden Luft,

so ist für Feuerluftheizung

$$F = \frac{W' \text{ (bzw. } + W'')}{q},$$

für Dampf- bzw. Wasserluftheizung

$$F = \frac{W' \text{ (bzw. } + W'')}{k (tm - tm')}.$$

Werte von q bzw. k s. bei Ofen- bzw. Dampf-(Warmwasser-)Heizung.

Berechnung der Kanäle: Bestimmung der Luftmengen L_1 und der Temperaturen t_1' , die der Berechnung des Kanals zugrunde zu legen sind.

α) Der Luftwechsel richtet sich nur nach der zu liefernden Wärmemenge.

Bezeichnet:

W die stündliche Wärmeabgabe des Raumes (in WE), bezogen auf die tiefste Außentemperatur t_0 ,

W_1 die stündliche Wärmeabgabe des Raumes (in WE), bezogen auf jene höchste Außentemperatur t_1 (s. S. 429) bei der noch der volle Luftwechsel zu erzielen ist, genau genug zu setzen

$$W_1 = W \frac{t - t_1}{t - t_0},$$

t die Raumtemperatur,

t' die bei der Außentemperatur t_0 erforderliche Temperatur der Zuluft,

t_1' die der Berechnung des Kanals zugrunde zu legende Temperatur der Zuluft,

L die bei der Außentemperatur t_0 zur Erwärmung des Raumes erforderliche Luftmenge in cbm von t^0 ,

L_1 die der Berechnung des Kanals zugrunde zu legende Luftmenge in cbm von t^0 ,

so ist

$$L_1 = m L = m \frac{W(1 + \alpha t)}{0,306(t' - t)}.$$

Werte für m

t'	$t = 20^0$		
	$t_1 = \pm 0$	+ 5	+ 10
30	0,70	0,62	0,52
40	0,72	0,64	0,54
50	0,73	0,65	0,55

Ferner ist:
$$t_1' = t + \frac{W_1(1 + \alpha t)}{0,306 L_1}.$$

β) Der Luftwechsel ist vorgeschrieben.

Bezeichnet ausser den früheren Benennungen

L_v den vorgeschriebenen stündlichen Luftwechsel des Raumes in cbm von t^0 ,

L_e den stündlichen zur Erwärmung des Raumes erforderlichen Luftwechsel in cbm von t^0 ,

so ist zunächst zu bestimmen:

$$t' = t + \frac{W(1 + \alpha t)}{0,306 L_v} \dots \dots \dots \text{XVIII}$$

Ist $t' < 50^0$, so ist

$$L_1 = L_v \quad \text{und} \quad t_1' = t + \frac{W_1(1 + \alpha t)}{0,306 L_v}$$

zu setzen.

Ist $t' > 50^{\circ}$, so kann für die tiefste Außentemperatur L_v nicht eingehalten werden, sondern ist zu ersetzen durch

$$L_e = \frac{W(1 + \alpha t)}{0,306(50 - t)}.$$

In diesem Fall wird $L_1 = m L_e$, wobei die früher angegebenen Werte von m anzuwenden sind.

Ferner ist:
$$t_1' = t + \frac{W_1(1 + \alpha t)}{0,306 L_1}.$$

Für beide Fälle wird die weitere Durchrechnung unter Zugrundelegung von L_1 und t_1' genau so wie bei Lüftungsanlagen durchgeführt.

Wärmeverlust eines Kanals. Bezeichnet:

- G die stündlich zu fördernde Luftmenge in kg,
- F_1 die äußere, wärmeabgebende Fläche des Kanals in qm,
- t_1 die Anfangstemperatur der Luft im Kanal,
- t_2 die Endtemperatur der Luft im Kanal,
- t_s die Temperatur der den Kanal umgebenden Luft,
- c die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck = 0,237,
- k_1 die Wärmedurchgangszahl für die Kanalwand (s. S. 436 u. f.),

so ist

$$t_1 = \frac{(2 G c + F_1 k_1) t_2 - 2 F_1 k_1 t_s}{2 G c - F_1 k_1}.$$

Ueber Mischung von Luftmengen s. I. Bd.

F. Zentralheizungen in Verbindung mit Kraftbetrieben.

1. Allgemeines.

Wird einer Dampfmaschine (Dampfturbine) Dampf*) unter bestimmter Spannung zugeführt, so nützt sie das Druckgefälle entweder bis zur Atmosphäre (Auspuffmaschine) oder bis zur Luftleere (Kondensationsmaschine) fast vollständig aus, während sie von den mit dem Dampf zugeführten Wärmemengen maximal etwa 25 vH. aufbraucht und rund 75 vH durch den Auspuffdampf oder durch das Kühlwasser verloren gehen.

Gerade hier kann die Heizungs- und Lüftungstechnik nutzbringend eingreifen und unter Verwertung dieser preisgegebenen Wärmemengen wirtschaftlich außerordentlich günstig arbeitende Betriebe schaffen.**)

2. Heizung unter Zwischendampfentnahme.

Mit dem Kraftbetrieb kann eine Hochdruckheizung (Fabrikheizung, Heizung von Trockenräumen usw.) wirtschaftlich günstig unter Zwischen-dampfentnahme aus dem Receiver von Dampfmaschinen oder aus

*) Dampfverbrauchsahlen s. II. Bd.

**) Brabbée, Die Heizungsanlage im Fabrikgebäude der Deutschen Gasglühlicht-Aktiengesellschaft (Auergesellschaft), Berlin, Z. d. V. d. Ing. 1909.

irgend einer Druckstufe von Dampfturbinen (Anzapfturbinen) durchgeführt werden. Im ersteren Falle ist insbesondere für eine vorzügliche Entlötung des Maschinendampfes zu sorgen, da das Oel durch Absetzen in den Heizrohrleitungen (Zusetzen derselben) sowie durch Verminderung der Wärmeabgabe der Heizkörper zu Störungen bzw. Unterbrechung des Heizbetriebes führen kann.*)

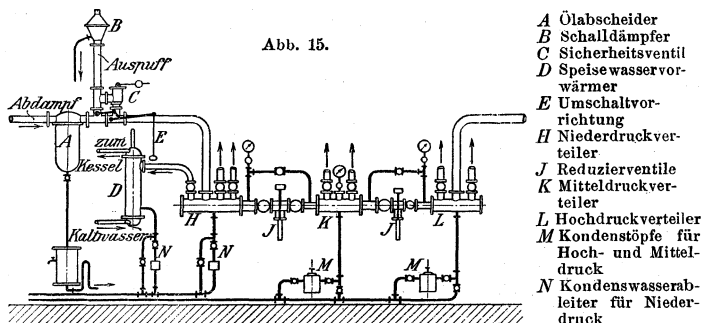
Die Berechnung der an die Kraftmaschine anzuschließenden Heizung erfolgt genau so, wie es unter Hochdruckdampfheizung angegeben ist.

3. Abdampfheizung.**)

Schema einer Frischdampf-Abdampfzentrale (Abb. 15).

Die Abdampfheizung kann als a) Dampfheizung, b) Dampfwarmwasserheizung ausgeführt werden.

Der aus der Maschine kommende Abdampf wird vorzüglich entlöt,



entwässert und in ein Ausgleichgefäß (Abdampfverteiler) geleitet. Dieses wird über ein automatisch wirkendes, reduzierendes Zusatzspeiseventil mit den Kraftkesseln verbunden, enthält entsprechende Sicherheitsventile mit Signalvorrichtungen und die Verbindungsstränge zur Heizung.

Diese selbst ist genau wie eine „Niederdruckdampfheizung“ bzw. wie eine „Dampfwarmwasserheizung“ zu berechnen, nur ist die Berechnung unter Annahme geringer Spannungsabfälle für 1 lfd. m besonders sorgfältig durchzuführen und die Stränge bestens zu entwässern, da sonst unzulässig hohe Gegendrücke auf die Maschine auftreten.

*) Ueber die bezüglichen Einrichtungen der Kraftmaschinen siehe

Eberle: Der Einfluß des Gegendrucks und der Zwischendampfentnahme auf den Dampfverbrauch von Kolbendampfmaschinen, Z. d. V. d. I. 1907.

Deinlein: Dampfmaschine und Heizungsanlagen, Zeitschrift des Bayerischen Revisionsvereins 1908.

Die A. E. G.-Turbinen für Abgabe und Verwertung von Niederdruckdampf (Gegendruck- und Anzapfturbinen), herausgegeben von der A. E. G., Berlin.

**) Josse: Neue Kraftanlagen, Oldenbourg 1909. Biegeleisen, Die Abdampfheizung mit Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit des Dampfmaschinenbetriebes, Oldenbourg 1906. Urbahn, Ermittlung der billigsten Betriebskraft für Fabriken, Springer 1907. Rüsler, Abdampf-Kraftanlagen, Zeitschrift des Bayerischen Revisionsvereins 1909.

4. Vakuumheizung.*) (Abb. 16.)

Der aus dem Niederdruckzylinder kommende Dampf wird entölt, entwässert und ebenso wie unter 3 in den Ventilstock der Heizung geleitet. Am Ende der Kondensleitung befindet sich eine nasse Luft-

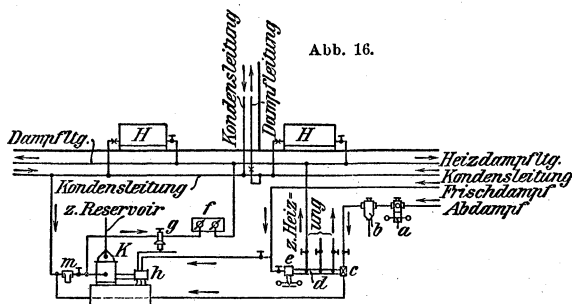


Abb. 16.

⊗ × Sonderkonstruktion von Kondensventilen, die Luft und Wasser aber nicht Dampf durchlassen

c Kondensventil am Heizdampfverteiler d h Dampfzylinder der Vacuumpumpe K
 † Absperrentile b Ölabscheider f Manometer m Schlammfang
 a Auspuffventil e Reduzierventil g Pumpenregler H Heizkörper.

pumpe, die unter Zuhilfenahme besonderer Ventile am Ventilstock und an jedem Heizkörper aus diesen Luft und Dampf bis auf ein bestimmtes Vakuum absaugt, wobei durch die Ventile verhindert wird, daß Dampf in die Kondensleitung kommt.

Vorteile: Oberflächentemperatur der Heizkörper unter 100°, Ausdehnung der Heizung auf bedeutende Entfernungen, kleinere Rohrdimensionen, geringerer Gegendruck auf die Maschinen. In Deutschland noch wenig angewendet.

Ebenso wie bei der Abdampfheizung kann auch bei Vakuumheizung der Dampf statt in die Raumheizkörper in Dampfwarmwasserapparate gesandt werden, die dann als Oberflächenkondensatoren wirken (s. unter 5).

5. Abwärmeheizung.

a) Ausnutzung der von Rauchgasen mitgeführten Wärmemengen, s. Kanalheizung.

b) Verwendung der Auspuffgase oder des Kühlwassers von Gasmaschinen.

Das Kühlwasser, das etwa mit 50 bis 60° vollständig rein den Motor verläßt, kann direkt als Warmwasser zu Gebrauchszwecken (event. zur Heizung) verwendet werden. Die Auspuffgase, deren Temperaturen 300 bis 500° betragen, sind am besten in ähnlichen Apparaten wie Dampfkessel-Ekonomiser zur Warmwassererzeugung auszunutzen, jedoch die Gase nicht unter 100° (Wasserabscheidung) abzukühlen.

*) System Webster. Vertreten für die Atmospherie Steam Heating Co. in Deutschland.

Im allgemeinen kann man rechnen, daß etwa $\frac{1}{3}$ der gesamt im Motor entstehenden Wärme durch Ausnutzung der Abgas- und Kühlwasserwärme nutzbringend verwertet werden kann. *)

c) Ausnutzung der in den Kondensationsanlagen von Dampfbetrieben verfügbaren Wärmemenge zu Heizzwecken. **)

Dies ist im allgemeinen nur möglich bei Anlagen mit Oberflächenkondensation, da das bei Einspritzkondensation erforderliche Frischwasser zu Zerstörungen der Heizungsanlage führen würde.

Bei Oberflächenkondensation kann nahezu 75 vH der den Kraftmaschinen insgesamt zugeführten Wärmemenge ausgenutzt werden, und zwar einfach dadurch, daß das Kühlwasser entweder durch Schwerkraftwirkung oder unter dem Einfluß von Pumpen seinen Weg in die Heizung nimmt.

Dabei ist es aber je nach der herrschenden Aufsentemperatur erforderlich, die Austrittstemperatur des Kühlwassers (Vorlauftemperatur des Heizwassers) zu ändern. Dies erfolgt unter Beeinflussung (Abschwächung) des Vakuums durch regulierbares Einlassen von Luft in die Vakuumleitung. Bei tiefster Aufsentemperatur kann unter Abschaltung der Luftpumpe mit Auspuff gearbeitet werden.

Da Dampfmaschinen gegen Abschwächung des Vakuums weit unempfindlicher sind als Dampfturbinen, eignen sich insbesondere erstere zu solchen Ausführungen, wobei wieder die Einzylinder- der Zweizylindermaschine vorzuziehen ist.

G. Fernheizungen. (Abb. 17.)

1. Allgemeines.

Für größere Gebäudegruppen, insbesondere für städtische Anlagen in Verbindung mit eigenen Elektrizitätswerken (Heil-, Irren- und Krankenanstalten, auch wenn sie im Pavillonsystem angelegt werden). Anlage von Akkumulatorenbatterien und Wärmespeichern zum Ausgleich der Kesselbelastung und zur ökonomischen Ausführung der Heizeinrichtungen. Die Größenbestimmung der letzteren, wie auch der Kessel, hat aus Diagrammen zu erfolgen, in denen für Winter bzw. Sommer die Dampf- bzw. Warmwassermengen für Kraft- und Lichtbetrieb, für Heizung und Warmwasserversorgung, für Koch- und Waschküche usw. als Funktion der Tages- bzw. Nachtstunden aufgetragen sind.

Vorteile: Versorgung weit auseinanderliegender Baulichkeiten mit Wärme, Licht und Kraft von einer einzigen Feuerstelle, vereinfachte Bedienung, Verminderung von Rauch und Rußbelästigung, Wegfall von Kohle und Aschetransport in den einzelnen Gebäuden, billiger und insbesondere bei Verbindung mit Elektrizitätswerken ausgezeichnet ökonomischer Betrieb.

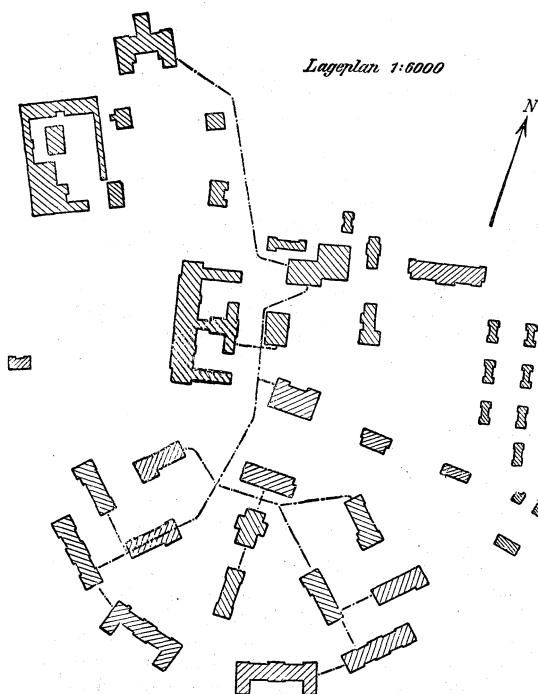
*) Hottinger, Verwendung der Dieselmotorabwärme zu Heiz- und Warmwasserbereitungszwecken, Gesundheitsingenieur 1909.

**) L. Meyers, Warmwasserfernheizung unter Ausnutzung der Abwärme einer 100 PS-Kondensationsmaschine, Z. d. V. d. I. 1910.

2. Ferndampfheizung.

Insbesondere anzuwenden, wenn am ganzen Gelände zum Kochen, Waschen, Sterilisieren, Desinfizieren usw. Dampf benötigt wird oder einzelne Gebäude Dampfheizung, andere Warmwasserheizung (dann als

Abb. 17.



Dampf-Warmwasser-
heizung auszuführen) erhalten sollen. Nur Vergleich der Betriebskosten, einschließlich Amortisation und Verzinsung der Anlage, kann gegenüber einer Fernwarmwasserheizung in wirtschaftlicher Hinsicht entscheiden.

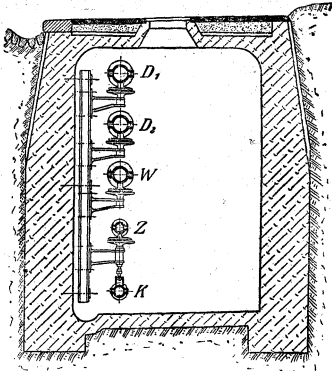
Kessel. 8 bis 12 at abs. Keine oder nur mäßige (bis höchstens 200^o) Ueberhitzung. Besser Rauchgase im Kessel voll auszunutzen, bzw. Vorwärmer für Speisewasser. Automatische Beschickung, Feuerungskontrolle sehr vorteilhaft. Besondere Sorgfalt auf Entnahme von trockenem Dampf zu verwenden.

Leitungen. Mit großem Spannungsabfall zu rechnen,

so daß bei stärkstem Betrieb am Ende etwas mehr als Gebrauchsspannung herrscht. Umgehungsleitung von geringem Durchmesser zum Anlassen. Beste Isolation sowohl der Leitungen wie Flanschen, beste Rohrverbindungen (Schweißsen). Lagerung der Dampfleitungen in begehbaren Kanälen (Abb. 18) möglichst auf Kugelschlitten (Abb. 19), kupferne, besser richtig bemessene schmiedeiserne Kompensatoren und Entwässerung unter sägeförmiger Anordnung. Reserveleitung (Leitung II, Abb. 18) so zu wählen, daß sie gegebenenfalls unter Steigung der Dampfspannung und Einstellung (Einschränkung) der Lüftung genügt, den Wärmebedarf für die Beheizung der unbedingt zu erwärmenden Gebäude, der Kochküche, der erforderlichen Bäder usw. zu decken.

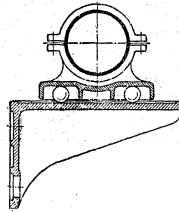
Berechnung der Leitungen s. unter Hochdruckdampfheizung.
Am Ende der Leitung automatische Reduktion (am besten doppelt)

Abb. 18.



D_1 Hochdruckdampfleitung I
 D_2 Hochdruckdampfleitung II
 W Warmwasser-Versorgungsleitung
 Z Warmwasser-Zirkulationsleitung
 K Kondensleitung.

Abb. 19.



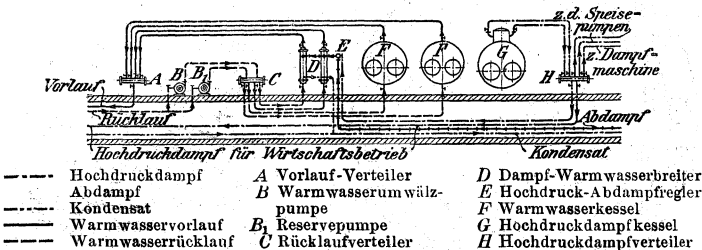
auf Gebrauchsspannung. Anordnung entsprechender Verteiler, von denen die normale Niederdruckdampfheizung beginnt.

3. Fernwarmwasserheizung.

Schematische Darstellung einer Zentrale (s. Abb. 20).

Insbesondere anzuwenden, wenn jene Gebäude, die größere Dampfmengen benötigen (Waschküche, Kochküche usw.), in der Nähe des Kesselhauses liegen, sonach am Gelände selbst Dampf entweder nicht

Abb. 20.



oder nur in kleinen Mengen gebraucht wird, zu deren Erzeugung Gas- oder elektrische Kochapparate verwendet werden können.

Sehr wirtschaftliche Betriebe möglich, wenn die Fernwarmwasserheizung in Verbindung mit einem Kraftwerk (Elektrizitätswerk) gebracht werden kann, wobei dann zu Zwecken der Fernheizung bzw. Fernwarmwasserversorgung entweder der Abdampf verwendet oder unmittelbar das Kühlwasser von Oberflächenkondensatoren ausgenutzt werden kann.

Vorteile gegenüber der Ferndampfheizung: Mäßigere Beanspruchung der Leitungen, daher keine Reservestränge nötig, Verlegung der Leitungen

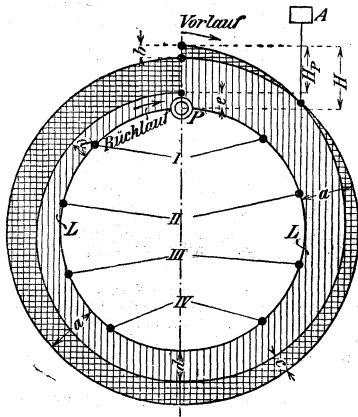
in nicht begehbaren Kanälen (Abb. 21), kleinere Wärmeverluste, generelle Regulierung vom Kesselhaus, Entfall von Reduzierventilen, Kondenstöpfen, lange Lebensdauer.

Kessel. Nur so viel Dampfkessel, als unbedingt zu Kraftzwecken, für Wasch- und Kochküche usw. nötig sind. Sonst direkt gefeuerte Warmwasserkessel, die gleichzeitig als Wärmespeicher benutzt werden können. Ermittlung der Größe von Dampf- bzw. Warmwasserkessel auf Grund von Diagrammen, wie bei Ferndampfheizung.

Als Reserve Dampfkessel, die unter Aufstellung entsprechender

Dampfwarmwasserapparate gleichzeitig als Reserve für die Warmwasserkessel dienen.

Pumpen. 2 Pumpensätze mit möglichst verschiedenen Antriebsmaschinen, z. B. Dampf- und elektrischer Antrieb, Drehkolbenpumpen mit Drehkolbendampfmaschinen, langsam laufende Zentrifugalpumpen



V Warmwasservorlaufleitung
R Warmwasserrücklaufleitung

Abb. 22.

- L* Leitungskreis durch Vor- und Rücklauf
I, II, III . . . Gebäudeanschlüsse
H Ausdehnungsgefäß
P Pumpe im Kesselhaus
HP durch die Pumpe erzeugte Druckdifferenz
a Statischer Druck über der ganzen, horizontal gedachten Leitung im Ruhezustand []
b Druckerhöhung auf den Maximaldruck im Betrieb *H*
c Druckentlastung im Betrieb []
d Verbleibender, Gesamtdruck im Betrieb
e Druck auf dem Saugstutzen der Pumpe (Ueberdruck) im Betrieb.

mit direktem oder Riemenantrieb durch Elektromotoren oder Dampfturbinen (Abdampf ist immer auszunutzen).

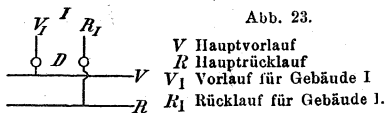
Die Pumpen sind in den Rücklauf zu setzen und dafür zu sorgen (aus dem Druckdiagramm [Abb. 22] der Leitung zu ersehen), daß am Saugstutzen der Pumpe noch ein entsprechender Ueberdruck gegen die

Atmosphäre (etwa 5 m Wassersäule) herrscht, da sonst der Wasserfaden abreißen kann und gefährliche Wasserschläge möglich werden.

Leitungen. Maximale Geschwindigkeit 2,5 bis 3 m/sk. Berechnung der Druckverluste genau wie bei der Wasserheizung (s. Pumpenheizung). Ausdehnungsgefäß in die Vorlaufleitung, und zwar nach Maßgabe der Abb. 22 derart anzuordnen, daß der größte Teil der Leitung (Heizkörper) von dem in der Anlage herrschenden statischen Druck entlastet wird, jedoch am Saugstutzen der Pumpe noch genügender Ueberdruck über die Atmosphäre vorhanden ist. Solche Diagramme geben auch über die für jedes Gebäude (Heizkörper) zu berücksichtigenden Betriebsdruckverhältnisse Aufschluß.

Bei Anordnung des Ausdehnungsgefäßes im Rücklauf wird der Druck in der Anlage meist unnütz erhöht.

Gebäude. Anordnung von kleinen Unterzentralen bei Abzweigung der Hauptleitungen in die Gebäude, von welchen durch Drosseleinrichtungen D (Abb. 23) die Druckdifferenz (Temperaturdifferenz) für das Gebäude eingestellt werden kann. Im Gebäude selbst erfolgt der Anschluß an die Leitungen V_I und R_I entweder nach dem Einrohr- oder Zweirohr- oder gemischten System.



SIEBENTER ABSCHNITT.

FABRIKANLAGEN.*)

I. WAHL DES FABRIKORTES.

Die Wahl des Standortes einer gewerblichen Anlage wird durch mannigfache Verhältnisse beeinflusst. Durch unrichtige Bewertung dieser Umstände kann die Wirtschaftlichkeit einer Fabrik gänzlich in Frage gestellt werden.

Es sind daher vor allem folgende 8 Gesichtspunkte bei der Ortswahl zu berücksichtigen:

1. **Transportverhältnisse und Transportkosten** für den Bezug der Roh- und Hilfstoffe sowie für den Versand der Erzeugnisse. Sie geben bei sonst zuzugenden Verhältnissen oftmals den Ausschlag und müssen rechnerisch verfolgt werden; so z. B. bei Ziegeleien (Ton und Kohle), Eisenhütten (Erze und Koks), Kalköfen, Zementfabriken usw.

Bei Ziegeleien verhalten sich die Ton-, Ziegel- und Kohlenmengen im allgemeinen wie etwa 5:3:1/2. Ihre Lage wird also weder an der Zeche, noch an der Verbrauchsstelle der Ziegel (Stadt) sein, sondern an oder nahe den Tongruben.

Hochöfenwerke, die Erze von 33 vH Fe-Gehalt verarbeiten sollen, bedürfen zur Erblasung von 1 t Roheisen 3 t Erze und etwa 1 t Koks. Es verhalten sich also die Erzmengen zu den Koks- und Eisenmengen wie 3:1:1. Daher hier für reine Hochöfenanlagen die Lage „auf den Erzen“ die vorteilhafteste.

Bei besseren Erzen und gemischten Werken (Puddelöfen, Thomas- oder Bessemer- und Walzwerken mit Hochöfen verbunden) überwiegt die Kohlenmenge, und dann ist die Lage „auf den Kohlen“ die wirtschaftlich vorteilhaftere.

Die Transportkosten lassen sich durch Gleisbahnen (Voll- oder Schmalspur, Zahnbahnen), Seil- und Hängebahnen sowie sonstige mechanische Fördereinrichtungen ermäßigen.

2. **Bodenpreise.** Bodenpreise sind im allgemeinen in großen Ortschaften höher als in kleinen, ferner höher im Weichbild oder in der Nähe einer Stadt als bei abseitiger Lage, endlich auch höher an der Eisenbahn oder einem schiffbaren Wasserlauf als an der Landstraße. Durch Rechnung ist zu prüfen, welches Grundstück wirtschaftlich vorteilhafter ist. Abseitige Lage bedingt vermehrte Transportkosten, wobei alles Frachtgut einschl. des Packmaterials, Abbrandes und Verlustes beim Umladen usw. zu berücksichtigen ist. Hierbei ist auch spätere Erweiterung zu berücksichtigen, da Bodenpreise durch Fabrikanlage meistens in die Höhe gehen.

*) Für die „Hütte“ bearbeitet von Prof. Troske-Hannover.

Auf gute Verkehrswege Wert legen. Beste Lage im allgemeinen da, wo Eisenbahnanschluss sich mit schiffbarer Wasserstraße paart, weil dann billigster Bezug der Roh- und Hilfstoffe auf dem Wasserwege und schneller Versand der Erzeugnisse auf der Eisenbahn.

Mühlen für Verarbeitung ausländischen Getreides müssen an Wasserstraße liegen, daher die vielen Getreidemühlen am Rhein, an der Donau usw. Mühlen für inländisches Getreide müssen ihrem Standort im getreidebauenden Bezirk erhalten. Störungen der Wasserstraßen durch Frost und Hochwasser sind zu berücksichtigen, dsgl. Wegstörungen durch Schnee usw. bei abseitiger Lage der Fabrik. Pünktliche Lieferung wichtig wegen Beibehaltung der Abnehmer usw.

3. Verwertung einer etwa vorhandenen Energiequelle.

a) Durch Wärmekraftmaschinen.

Stein- und Braunkohlen, Torflager, Holz, Petroleum, Spiritus, Naturgas, Hochofen- und Koksofengas, Schmelzgas, Kraftgas.

b) Durch Wasserkraftmaschinen.

Bergsee, Talsperre, Wasserlauf und Wasserfall.

Vor Anlage eines Wasserkrafthauses sorgfältig Kosten einer PS-st ermitteln und mit denen einer Wärmekraftmaschine vergleichen.

Wo die Veränderlichkeit einer Wasserkraft oder Störung durch Frost und Hochwasser eine Wärmekraftmaschine als Reserve erforderlich macht, ist solche in den Kostenvergleich einzubeziehen.

4. Steuer- und Zollverhältnisse. Der Fabrikant muß Staats- und Gemeindesteuer zahlen, außerdem Gewerbe-, Grund-, Gebäudesteuer usw.

Staatssteuer in Preußen durch Gesetz von 1891 geregelt. Gemeindesteuer wird als Zuschlag zur Staatssteuer erhoben. Dieser schwankt in Preußen im allgemeinen zwischen 100 und 300 vH der Staatssteuer und sinkt nur vereinzelt unter 100. Orte mit hoher Gemeindesteuer sind daher unter sonst gleichen Verhältnissen für Neuanlagen nicht empfehlenswert.

5. Beschaffung des Nutzwassers. Für viele Anlagen erheischt die Nutzwasserfrage sorgfältige Prüfung. (Dampfkesselanlagen, Kondensationsmaschinen, Hochöfen, Papierfabriken, Färbereien, Zuckerfabriken usw.)

Ein Hochofen gebraucht zum Kühlen von Rast, Gestell und Formen für je 100 t/24 st erblasenes Eisen etwa 12 l/sk Wasser, also soviel wie eine Stadt von rd. 10.000 Einwohnern. Bei Gebläsemaschinen mit Dampftrieb ist der Wasserverbrauch für Kessel groß. Durch Gaskraftmaschinen kommen die Dampfkessel in Fortfall. Hier nur Kühlwasser für die Arbeitszylinder erforderlich, dadurch Hochofenbetrieb auch in wasserarmen Gegenden ermöglicht, z. B. auf Elba, bei Tula usw. Anderswo Hochöfen wegen Wassermangels abgelassen.

Wasser auf seine Reinheit untersuchen, wichtig bei Färbereien.

6. Arbeiterverhältnisse. Tüchtiger, zuverlässiger Arbeiterstamm wichtig. Häufiger Arbeiterwechsel verteuert die Warenerzeugung. Im allgemeinen sind Arbeiter der Städte intelligenter und geschickter als auf dem Lande, erhalten aber auch höhere Löhne. Abseitige Lage erschwert den Arbeiterzugang, bedingt mitunter sogar Zahlung höherer Löhne, um Arbeiter an die Fabrik zu fesseln. Durch Zeitung Arbeiter anzuwerben, zeitigt meistens schlechten Erfolg. Den Arbeiter zieht es nach den großen Städten wegen ihrer besseren und lohnenderen Arbeitsgelegenheit, wegen ihrer Vergnügungen, Fachvereine usw. Gute Verhältnisse in- und außerhalb der Fabrik schaffen, a) durch gerechte,

strenge, aber wohlwollende Behandlung, pünktliche Zahlung des Lohnes usw.; b) durch preiswerte Wohnungen, tunlichst mit Gartenland (Arbeiterkolonien), leidliche Schulverhältnisse, Konsumvereine (kein Trucksystem!), vrgl. Borsig-Tegel, Schwartzkopff-Wildau, Krupp, Bochumer Verein, Mülhausen i. E. usw.

7. Anziehungskraft der Sitze gleichartiger Industrie. Mitunter ratsam, Standort da zu wählen, wo schon gleichartige Fabriken von gutem Ruf bestehen.

Gardinenfabriken von Plauen, Spitzenfabriken von St. Gallen, Seidenfabriken von Krefeld, Lyon; Goldwaren-Pforzheim, Uhrenfabriken in Chaux-de-Fonds, Locle, Glashütte usw.

8. Vorzüge der Stadt für das geschäftliche Leben gegenüber dem Lande. Erleichterter Verkehr mit Bankier, Post, Telegraph, Eisenbahn usw., bequemer Bezug von Hilfsstoffen, Verkehr mit Berufsgenossen usw.

Für Fabriken zur Verwertung von Abfällen und Nebenprodukten der Hauptfabrik empfiehlt sich oftmals nahe Lage bei letzterer.

Manche landwirtschaftliche Fabrikbetriebe sind auch an die Bodenart gebunden, so z. B. Zuckerfabriken an schweren Boden (Provinz Sachsen, Hannover usw.), Kartoffelspiritusfabriken an leichten Boden.

II. WAHL DES BAUPLATZES.

Folgende Gesichtspunkte sind zu beachten:

1. § 16 d. R.-Gewerbeordnung (Genehmigungspflichtige Anlagen).
2. Beschaffenheit des Baugrundes und seine Grundwasserverhältnisse, seine Tragfähigkeit usw. (Fundamente). Etwaige Boden-Ab- und -Auftragungen prüfen.
3. Anschluss des Fabrikgrundstücks tunlichst an Eisenbahn oder Wasserstrasse, mindestens aber an gute Landstrasse.
4. Nachbarschaft. Höhe der Feuerversicherungsgebühr durch solche beeinflusst.
5. Wasserverhältnisse. a) Gebrauchswasser; b) Abwässer (Abführung durch Kanäle, Schlamm- und Sickerteiche, Rieselfelder usw.).

III. ALLGEMEINES FÜR DIE ENTWURFS-BEARBEITUNG.

Bei Aufstellung von Fabrikentwürfen sind in erster Linie folgende Grundsätze zu beachten:

1. Neben guter Zu- und Abfuhr sollen alle Transportwege auf dem Fabrikgebiete innerhalb und außerhalb der Werkstatträume möglichst kurz sein, damit sich die Transporte verhältnismäßig billig und schnell

vollziehen. Danach sollen Rohstoff- und Fertiglager, unter Umständen auch Vollendungswerkstätten, an den Zu- und Abfuhrwegen liegen oder mit ihnen in bequemer und kurzer Verbindung stehen.

Tunlichst vermeide man, Drehscheiben in das Anschlußgleis bei dessen Eintritt in den Fabrikhof zu legen, da bei eintretender Störung in ihrem Laufwerk die Bahn-An- und -Abfuhr lahmgelegt ist. Gleisverzweigung durch Weichen ist vorzuziehen. Die Bahnwagen müssen an den Roh- und Hilfstofflagern (Holz-, Kohlen-, Sand- und Eiserglagern usw.) entladen und an den Warenlagern ent- und beladen werden können.

Wegen der Krümmungshalbmesser der Gleisbögen vrgl. III. Bd., Abschn. Eisenbahnwesen.

Rechnerisch prüfe man, ob und welche mechanische Transporteinrichtung wirtschaftlich vorteilhaft ist, ob Gleis-, Seil- oder Hängebahn, und im ersten Falle, ob Dampf-, feuerloser oder elektrischer Lokomotivbetrieb am Platze ist. Unter Umständen Kran-, Band-, Schnecken- oder Elevatortransport einrichten.

2. Die zu verarbeitenden Roh- und Baustoffe nebst den Halbfabrikaten sollen entsprechend dem kürzesten Fabrikationsgange die jeweilige Werkstattabteilung tunlichst nur in einer Richtung unter möglichster Vermeidung rückläufiger Wege durchlaufen. Nur im Notfall sollten größere Teile oder Mengen durch Arbeitsräume befördert werden, in denen sie nicht einer Bearbeitung unterliegen. Das Ideal eines solchen Arbeitsganges: Lauf der Arbeitstücke bzw. Roh- und Hilfstoffe stetig vorwärts durch die aufeinander folgenden Bearbeitungsstätten. Beginn des Werdegangs am Rohstofflager und Ende am Fertiglager oder Packraum. Neuere Getreidemühlen, Zementfabriken, Eisenhütten mit Walzwerken, Spinnereien, Webereien, Automobilfabriken usw. zeigen in besonders klarer Form genaueste Beobachtung dieses Grundsatzes.

3. Die gegenseitige Lage und die Entfernung der einzelnen Baulichkeiten voneinander sind so zu wählen, daß

- a) sie sich nicht gegenseitig das Licht fortnehmen,
- b) bei Brandfällen die in den Gebädegassen liegenden Hydranten benutzt werden können,
- c) eine spätere Vergrößerung des Betriebes ohne Verstofs gegen Grundsatz 2., und ohne daß eine Betriebsstörung dadurch bedingt wird, leicht möglich ist.

Daher auch von vornherein genügend große Bodenfläche sicherstellen, dsgl. Zufahrten. (Bodenpreise steigen in der Regel, wie schon erwähnt, nach Beginn des Fabrikbaues; später notwendige Zufahrten können durch Bauten der Anlieger unmöglich gemacht werden.)

4. Das Krafthaus ist in die Nähe der formgebenden Abteilungen zu legen, damit Dampf- und Wellenleitungen kurz ausfallen. Elektrischer Betrieb gestattet unter Umständen größere Freiheit in dieser Gruppierung.

Das Verwaltungsgebäude muß eine möglichst günstige Lage (nahe dem Haupteingang, bei Maschinenfabriken z. B. auch nahe der Modelltischlerei) erhalten, dsgl. das Hauptmagazin.

5. Räume, die Staub, Rufs, schädliche Gase und Dämpfe entwickeln, sind gegen andere Arbeitstätten abzuschließen.

6. Genügend Platz ist zu lassen für Maschinen (auch zu deren Reinigung) und Arbeitsstellen, sowie für Transport- und Verkehrswege; ferner für genügende Helligkeit, Trockenheit, Wärme und Lüftung sorgen (vgl. § 120 der Reichsgewerbeordnung).

7. Störungen in einer Abteilung dürfen nicht den ganzen Betrieb ins Stocken bringen.

Daher Wert legen auf

a) Reserven verschiedener Art, z. B. Wärmekraftmaschinen bei stark veränderlicher Wasserkraft, dsgl. bei Windkraft, Handbetrieb bei elektrisch betriebenen Drehscheiben, Schiebebühnen usw.

b) entsprechenden Bau der Betriebsmaschinen, bei Kondensationsmaschinen z. B. Umstellung auf Auspuff, bei Verbundmaschinen zeitweiliger Betrieb auch mit einer Maschinenseite usw. In Wellenleitungen erforderlichenfalls besondere Kupplungen einbauen, die z. B. bei Gruppenantrieb gegenseitige Aushilfe gestatten oder auch Ausschalten einzelner Stränge ermöglichen usw.

c) geschlossene Rohrleitungen; Ringleitungen bei Wasser-, Gas-, Wind-, Druckluft- und Heizanlagen usw., dsgl. bei gewissen Dampfleitungen, geschlossene elektrische Leitungen*) für Energieausgleich.

d) Zwischenlager für Halbfabrikate und Einzelteile, genügend große Hauptlager für Roh- und Halbstoffe. Letztere helfen bei Verkehrsstörungen (Eisenbahnunterbrechung, Hochwasser, Frost) aus.

8. (Für den Betrieb und die innere Ausstattung.) Zwecks Verbilligung der Arbeit:

a) Ersatz der Handarbeit soweit als wirtschaftlich möglich durch Maschinenarbeit,

b) weitestgehende Arbeitsteilung.

Größe. Die ungefähre Größe einer Fabrik bestimmt sich entweder aus dem mutmaßlichen Umsatz oder aus den zu leistenden Tagewerken. Das letztere Verfahren nur bei Sonderfabriken (Werkzeugmaschinen, Dampfturbinen, Nähmaschinen, Pumpen, Regulator, Zementfabriken usw.) angängig. Im ersteren Fall muß das Verhältnis des Lohnes zum Jahresumsatz für den betreffenden Betrieb bekannt sein. Dieses ist z. B. für Maschinenfabriken 25 bis 35 vH, für Gummi-fabriken 10 bis 15 vH usw. Daher Jahreslohn einer Maschinenfabrik im Mittel ungefähr = 0,30mal Umsatz. Letztere Größe durch den jährlichen Durchschnittsverdienst eines Arbeiters geteilt, liefert die Gesamtzahl der Arbeiter. Diese ist auf die einzelnen Arbeitergruppen (Schmiede, Schlosser, Dreher usw.) zu verteilen, woraus sich die ungefähre Zahl der Schmiedefeuer, Schraubstöcke, Werkzeugmaschinen usw. und damit die Grundfläche der zugehörigen Räume ergibt. Umsatz im allgemeinen etwa = 4mal Betriebskapital.

*) Z. 1906 S. 1665.

Abstand der Schraubstöcke voneinander = 1,5 bis 2 m, der Schmiede-
feuer 8 bis 10 m. Breite neuerer Schmieden mit Seitenfeuern (vgl.
Abb. 42 c bis f u. 43) = 18 bis 22 m. — Mindestbreite für Gießhallen
der Eisengießereien 12 m, besser aber 15 m, für deren Seitenschiffe
7 bis 8 m.

Zahl der Former:

a) bei Handformerei auf durchschnittlich 25 t Gußware im Jahre
1 Mann,

b) bei leichter Maschinenformerei dsgl.,

c) bei schwerer Maschinenformerei das $1\frac{1}{2}$ -fache von b), also auf
je $37\frac{1}{2}$ t/Jahr 1 Mann.

Der Platzbedarf für die eigentliche Form- und Gießhalle berechnet
sich wie folgt:

Für je 100 t jährlicher Gußwarenerzeugung

bei Handformerei mindestens 60 bis 80 qm

„ mittelgroßer Maschinenformerei . . . 80 „ 100 „

„ kleiner Maschinenformerei 100 „ 120 „

Für Ofen und Aufzug ist etwa $\frac{1}{12}$ der Gießhalle zu nehmen, für
die Sand- und Lehmaufbereitung, Kohlen- und Graphitmühlen $\frac{1}{12}$,
Kernmacherei $\frac{1}{20}$, Trockenkammern $\geq \frac{1}{10}$, Putzerei $\frac{1}{4}$. Kokslager
(unter Dach) $\frac{1}{5}$, Lager für Formsand, Lehm, Kalkstein, Kohle, Graphit,
Stroh- und Holz wollseile, feuerfeste Steine $\frac{1}{8}$ (unter Dach); für Roh-
eisenlager $\frac{1}{2}$, Formkästen $\geq \frac{2}{3}$, Wrackguß nebst Fallwerk $\frac{3}{4}$, dazu
Verkehrswege. Ofenquerschnitt an engster Stelle = 1 qcm für jedes
stündlich einzuschmelzende kg Eisen.

Aufstellung der Arbeitsmaschinen tunlichst nach dem Fabrikations-
gange, was Transportkosten ermäßigt und Fertigstellung beschleunigt.

Hierbei ist die Frage zu prüfen, ob Eingeschofs- bzw. Hallenbauten
oder aber Stockwerkbau für den vorliegenden Zweck empfehlens-
werter sind.

Eingeschofsbauten sind da am Platze, wo im Inneren reiches und
gleichmäßiges Licht herrschen muß, sodann bei feuergefährlichen
Abteilungen, wie Karderien, ferner bei Räumen mit starker Dunst-,
Gas-, Staub- und Lärmentwicklung, z. B. Eisen- und Gelbgießereien,
Schmieden, manchen chemischen Fabriken, Kesselschmieden. Dunst-
abzüge am Dachfirst (Dachreiter) und u. Umst. Sauger anbringen.
Auch Spinnereien, Webereien usw. sind, besonders in warmen
Gegenden, neuzeitig eingeschossig (mit Holzzementdach) angelegt
worden, falls Bodenpreise niedrig.

Wo das Arbeitsgut bequem und billig sich mechanisch transpor-
tieren läßt, wie in Mahlmühlen, Brauereien, Papierfabriken usw., ist
Stockwerkbau vorzuziehen. Jenes wird den Maschinen und Behältern
aus der Höhe zugeführt.

Hohe Bodenpreise oder geringe Grundfläche bei späteren Neubauten
schränken die Eingeschofsbauten ein. Vereinzelt liegt dann wohl
Gießerei im Dachgeschoß, z. B. Gebrüder Sulzer in Winterthur (Gelb-
gießerei 1908), Mc Cormick Harvester Co. in Chicago (Eisengießerei
im 6. Stock), Baldwin in Philadelphia (Schmiede mit 35 Feuern im
1. Stock). Bei Krafthäusern innerhalb städtischer Häuserblocks Kessel-

haus zuweilen über dem Maschinensaal. Nach § 14 deutscher Reichsverordnung über „Anlegung von Dampfkesseln“ dürfen nicht über und seit Dezember 1908 auch nicht mehr unter den Kesseln Räume liegen, in denen Menschen dauernd sich aufhalten. Daher bei uns (auch in Frankreich) nicht mehrstöckige Kesselhäuser gestattet, dagegen in England und Amerika.

Geschosfbauten erfordern stärkere Fundamente, sind weniger übersichtlich und im allgemeinen weniger feuersicher als Eingeschosfbauten. Die unteren Geschosse erhalten nur Seitenlicht, sind aber besser zu heizen als Oberlichtbauten, dagegen wieder transporterschwerend. Eingeschosfbauten gestatten bequeme Erweiterung, erfordern aber große Grundfläche. Musteranlagen großer Eingeschosfbauten sind z. B. die Werke von Escher Wyss & Co. in Zürich (besonders die Dampfturbinenhalle), Benz u. Co. in Mannheim (Abb. 16), der A. E.-G. in Berlin (Brunnenstrasse), von Krupp in Essen und Buckau (neue Hallen), R. Wolf in Salbke bei Magdeburg (Abb. 32), Eisenwerk Wülfel bei Hannover (Abb. 36) usw.

Bei mehrschiffigen Hallen werden zuweilen die Seitenschiffe noch mit einer oder zwei Galerien ausgestattet (Abb. 13 d, vgl. auch Abb. 14 u. 27).

Arbeitsdiagramme. Entsprechend dem Fabrikationsgange ist für manche Fabriken, wie Getreide-, Gips-, Salzmühlen, Zementfabriken, Brauereien, Brennereien usw., vor der weiteren Entwurfsbearbeitung das **Arbeitsdiagramm** aufzustellen.

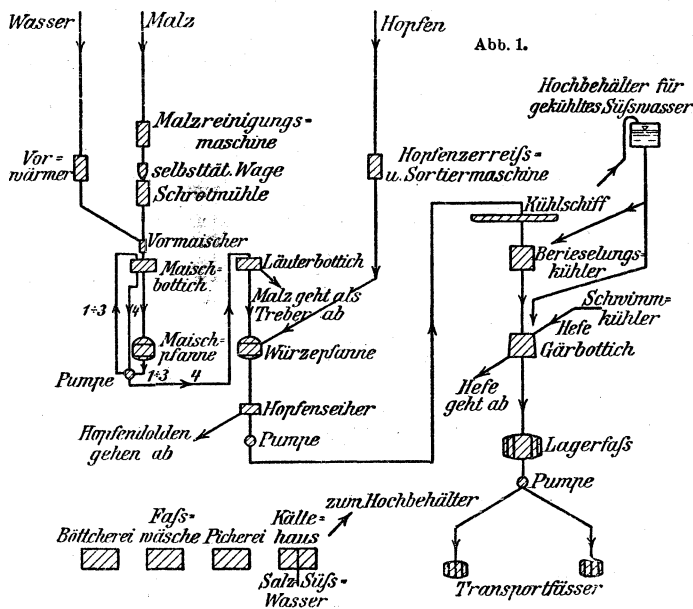
In ihm wird sowohl der Lauf des Arbeitsgutes einschl. aller Hilfsstoffe, als auch das Arbeitsverfahren schematisch, jedoch übersichtlich zur Anschauung gebracht. Für den ersteren Teil genügt zunächst das einfache oder sog. Laufdiagramm, wie solches durch die Abb. 1 bis 3 für drei verschiedene Betriebe wiedergegeben wird. Das eigentliche Arbeitsverfahren wird dann in einem zusammengesetzten oder ausführlichen Arbeitsdiagramm klargelegt. Aus ihm gehen die verschiedenen Laufrichtungen (Passagen) des Arbeitsguts nach den einzelnen Stockwerken hervor, samt allen Maschinen und Arbeitseinrichtungen.*)

Abb. 1 zeigt das Diagramm für eine Brauerei. — Malz, Wasser, Hopfen und Hefe bilden die Roh- und Hilfsstoffe. Das Malz wird nach Durchgang durch eine Reinigungsmaschine mit Staubabsaugung in einer Schrotmühle zerkleinert und dann in dem Vormaischer mit warmem Wasser vermischt. Im Maischbottich und in der dahintergeschalteten Maischpfanne wird unter Zusatz von Wasser durch Erwärmung die Stärke des Malzschrotes in Zucker umgewandelt, wobei der Pfanneninhalt dreimal nacheinander zu je etwa $\frac{1}{3}$ in den Maischbottich zurückgeführt wird. Nach Erreichung des nötigen Wärmegrades wird der Bottichinhalt in den Läuterbottich (oder in eine Maischfilterpresse) gepumpt, in welchem die Treber von der süßen Würze getrennt werden. Der weitere Arbeitsgang ergibt sich aus der beigelegten Diagramm-Erläuterung.

Die Nebenabteilungen, wie Böttcherei, Fäufswäsche, Kältehaus für Kunsteisenerzeugung,**) Salz- und Süßwasserkühler, letztere für Würze-

*) Ein Arbeitsdiagramm für eine Weizenmühle vgl. in Z. d. V. d. I. 1897 S. 527.

**) Abb. in Z. d. V. d. I. 1902 S. 477.

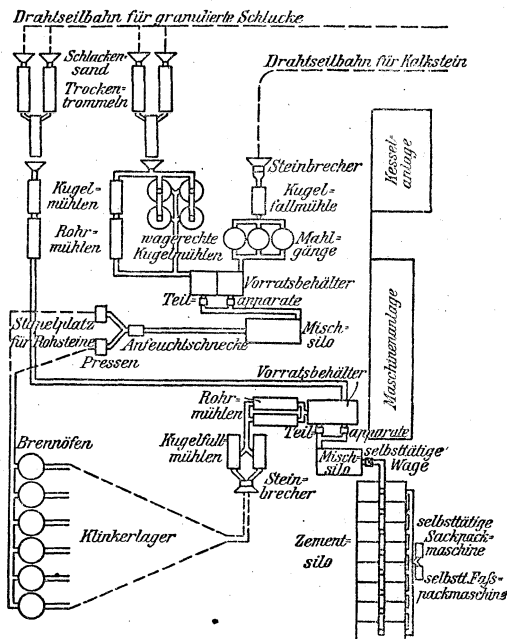


Arbeitsvorgang	Raum bzw. Apparat	Dauer	Zweck des Arbeitsvorganges
Reinigen des Malzes	Reinigungs-masch. mit Magnetapparat		Entfernung der Fremdkörper und etwaiger Eisenteilchen aus dem Malz
Schroten	Schrotmühle		Zerkleinern des Malzes zwecks besserer Austeute
Maischen	Vormaischer, Maischbottich u. Maischpfanne	4 bis 5 Std.	Ueberführung der Stärke des Malzschrötes in zuckerhaltigen Extrakt durch Wasserzugabe und Erwärmung
Abläutern	Läuterbottich oder Filterpresse	2 bis 4 Std.	Trennung der süßen Würze von den Trebern und Filtration der ersten durch die Treberschicht
Würze-sieden	Würzpfanne	2 bis 3 Std.	Kochen der Würze nach Zusatz der Auslaugwässer und des Hopfens
	Hopfenseiher		Trennen der Würze von dem ausgekochten Hopfen
Kühlen der Würze	Kühlschiff u. Berieselungskühl.	3 bis 5 Std.	Abkühlen der kochend heißen Würze und Klärung
Hauptgäre	Gärkeller	7 bis 10 Tage	Durch Hefezusatz im Bottich: Bildung von Alkohol und Kohlensäure
Nachgärung	Lagerkeller	70 bis 80 Tage	Absetzen der noch im Bier enthaltenen Hefezellen usw.
Abfüllen in Transportfässer.			

und Gärbotstichkühlung, sind darin nur namentlich aufgeführt, was aber als Unterlage für die erste Entwurfsbearbeitung genügt.

Abb. 2 gibt das Diagramm für eine Eisen-Portlandzementanlage*).

Abb. 2.

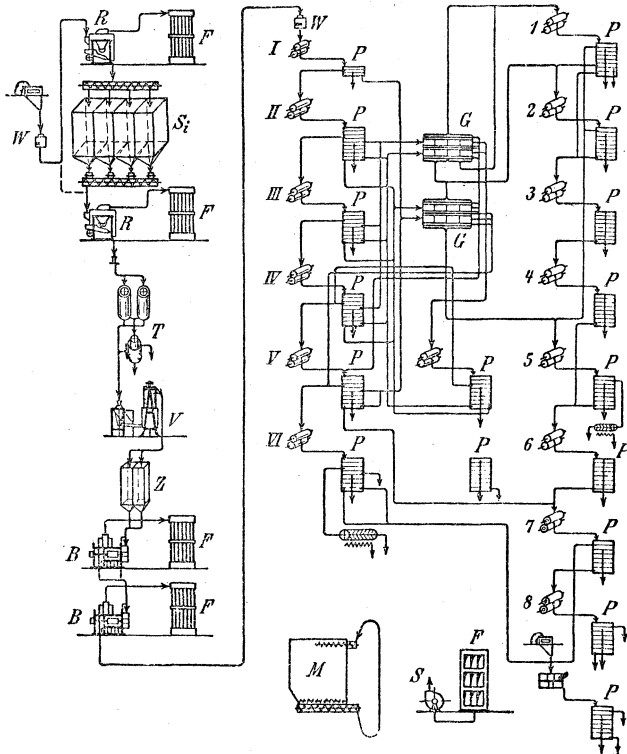


Hochofenschlacke ist kalkarm, ihr muß daher Kalkstein beigelegt werden. Zunächst wird die gekörnte Hochofenschlacke (Schlackensand) in Trockentrommeln geglättet, dann in Kühltrommeln abgekühlt und alsdann auf Kugel- und Rohrmühlen gemahlen. Ein Teil dieses Schlackensmehls (= kalkarmer Portlandzement) wird unmittelbar in die dem letzten Mischsilo vorgeschalteten Vorratsbehälter geleitet; der andere Teil mit gemahlenem Kalkstein in bestimmtem Verhältnis vermischt, angefeuchtet, auf Schlagpressen in Steinform gebracht, gebrannt und dann gelagert. Das Klinkergut gelangt in die Zementmühle und als Feinmehl (kalkreicher Portlandzement) in die vorgenannten Vorrats- oder Zwischenbehälter. Aus diesen wird das Schlacken- und Klinkermehl wieder in bestimmtem Verhältnis entnommen und alsbald im Mischsilo innig vermischt. Von hier wird das Fertiggut über eine selbsttätige Wage in den Zementspeicher eingebracht, aus dem es mittels Packmaschine in Säcke oder Fässer verpackt wird.

*) Buderussche Eisenwerke Wetzlar.

Abb. 3 zeigt das Diagramm einer Weizenmühle von 200 Sack (je 100 kg) Vermahlung in 24 Stunden.*)

Abb. 3.



Buchstabenerklärung.

W = selbsttätige Wagen,
 R = Reinigungsmaschine,
 F = Schlauchfilter,
 Si = Silospeicher mit Transportschnecken,
 T = Trieure,
 V = Waschmaschinen,
 Z = Zwischenbehälter,

B = Bürst- und Schälmaschinen,
 I bis VI = Walzenstühle zum Schroten
 1 bis 8 = „ „ Mahlen,
 P = Plansichter,
 G = Griesputzmaschinen,
 S = Sanger,
 M = Mehlmischer.

Der angefahrne Weizen muß gelagert, gereinigt und vermahlen werden. Nach Durchgang durch eine Vorreinigungsmaschine (Staub-

*) Amme, Giesecke u. Konegen in Braunschweig.

absaugung durch ein Schlauchfilter und selbsttätige Wage) wird er in die Silozellen eingebracht, von wo er — nach Umstechen und Umlagerung — zur Hauptreinigung (Reinigungsmaschine, Magnet zur Ausscheidung von Eisenteilchen), Trieure (zum Auslesen der fremden Getreidekörner und Samereien) und Wäsche (Waschkübel, Quirler, Abspritzschnecke und Trockenschleuder) gelangt.

Nach Trocknung kommt er in Ausgleichbehälter, aus denen er über Schäl- und Bürstmaschinen in die eigentliche Mühle geführt wird. Hier erfolgt auf sechs Walzenstuhlgruppen das Vorschroten, wobei das Mahlgut nach jedesmaligem Durchgang durch einen solchen Stuhl zunächst auf Plansichtern in seine einzelnen Bestandteile (Schrot, Gries, Dunst und Mehl) und alsdann auf Griesputzmaschinen in die einzelnen Gries usw. zerlegt und getrennt wird. Das Schrotgut wird wieder dem nächsten Walzenstuhl zugeleitet. Nach dem Vorschroten folgt das Feinmahlen auf ebensolchen Walzenstühlen (jedoch mit glatten Walzen); auch hier erfolgt jedesmalige Trennung der Gries, Dunste, Mehle auf Plansichtern.

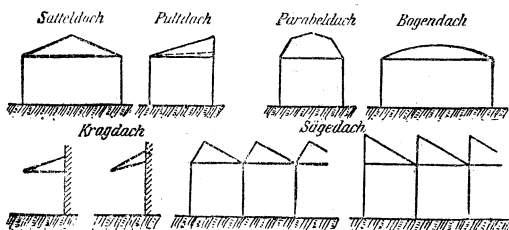
Die Abgänge (Kleie usw.) werden besonders abgezogen, die Mehle dagegen einer Mischvorrichtung (mit Mischschnecken) zugeführt.

Aus dieser wird das Mischgut abgesackt, selten von Hand, meistens durch Packmaschinen. Nach Abwiegen kommen die gefüllten Säcke in das Mehlmagazin, von wo die Abfuhr erfolgt.

IV. EINZELHEITEN.

1. Dächer. Es finden sich alle Dachformen und Dachbinder vor (vgl. Abb. 4 u. 5). Abb. 5a, b u. c = deutsch-französ. Dachstuhl (Wiegmann-Polonceau); Abb. 5d, e u. g = engl. Dachstuhl; Abb. 5f = belgischer; 5h = Parabeldachstuhl (vgl. auch Abb. 15); Abb. 5i und k Bogendachbinder, 5l = Stufendachbinder (vgl. auch Abb. 7 u. 16).

Abb. 4.



Die Endbinder werden zweckmäßig vor die Stirnwände gelegt, damit diese von dem Dachdruck freibleiben und so spätere Erweiterung

bequem und leicht möglich ist. Werden die Binder von Eisenstützen getragen, so können sie auch in der Wand liegen, letztere ist dann nur Auskleidung.

Neuere Eingeschofsbauten in Eisenkonstruktion sind vielfach so ausgeführt, daß die letztere allein trägt und für sich standsicher ist,

auch den auf die Umfassungswände wirkenden Winddruck allein aufzunehmen vermag. (Benzwerke in Mannheim: zwei 4schiffige Haupthallen von je $31\frac{1}{2}$ m Breite, Abb. 16; Wagenwerkstätte auf Bahnhof

Abb. 5.

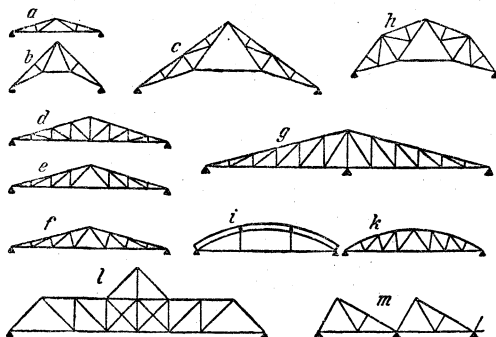


Abb. 6.



Dresden: 10 Hallen von je 15 m Stützweite und 100 bis 180 m Länge usw.)

Je freier die Lage der Fabrik und je fugenreicher die gewählte Dacheindeckung, desto steiler die Dachflächen, damit

das Wasser schnell abfließt und nicht in die Fugen dringt. Daher Ziegel- und Schieferdächer steil, Papp- und Holzzementdächer flach.

Bei schlechtem Untergrund leichte Dachhaut zweckmäßig. Wellblecheindeckung wiegt einschl. Pfetten 20 bis 30 kg/qm der geneigten Fläche, Holzzementeindeckung einschl. Sparren und Schalung 180 bis 240 kg/qm.

Wellblech aber nur da zu empfehlen, wo offene Feuer (Schmiede-, Polter-, Nietfeuer) nicht darunter liegen, da es andernfalls verhältnismäßig schnell zerfressen wird. Ueber Räumen mit vielem Lärm (Kesselschmieden usw.) ist es gleichfalls unzuweckmäßig, da es wie ein Resonanzboden wirkt. Mindestens ist es hier zu verschalen (Holz-, Gipsdielen, Bimsbeton usw.). Unverschalt eignet es sich auch nicht über Räumen, die geheizt werden müssen; es ist im Winter zu kalt und im Sommer zu warm darunter. Aus letzterem Grunde auch für viele Magazine nur mit Verschalung zu benutzen, desgleichen über Schiebebühnengruben der Lokomotiv- und Wagenfabriken.

Doppellagiges Pappdach sehr beliebt, sogar für Schmieden und Gießereien, aber hier für genügende Lüftungsklappen und Dunstabzüge sorgen. Dachneigung = $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{7}$, damit im Sommer das Bitumen nicht ausgelaugt wird, abtropft und Dachrinnen verstopft und damit Dach begehbar ist wegen des späteren Neuteuerens und Besandens. Aufbringung der Papplagen bei trockener Witterung!

Zu heizende Räume bedingen hier gleichfalls innere Verschalung.

Das **Holzzementdach** hat sich für Räume bewährt, in denen gleichmäßige Temperatur herrschen soll, wie Spinnereien, Webereien, Lackierereien, Tischlereien, Magazine für organische Stoffe usw. Es läßt den Dachraum frei, daher auch für Getreidemühlen empfehlenswert, da das Dachgeschoss des Silospeichers für den Bandtransport des Getreides, das der Mühle für die Aufstellung der Plansichter

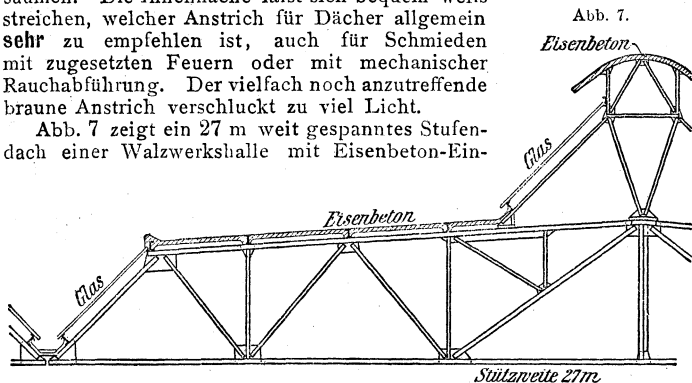
vorteilhaft ausgenutzt werden kann (Walzmühle in Ludwigshafen usw.). Für Arbeiterwohnhäuser ist es weniger zweckmäßig, da es keine Bodenräume liefert.

Durch seine bis 30 cm starke Kiesschicht (neuerdings auf 2 Papplagen aufruhend) hält es den darunter liegenden Raum im Winter wärmer, im Sommer kühler als andere Dacheindeckungen. In warmen Gegenden wird auch wohl Rasen auf die Kieslage gebracht, der im Sommer zwecks besserer Kühlhaltung besprengt wird (Spinnereien usw. in Italien und anderen Ländern).

Das **Bimsbetondach** mit Eiseneinlagen kommt jetzt immer mehr in Aufnahme, und zwar bei den mannigfachsten Fabriken (Maschinen-, Schuh- und Falsfabriken, chemische Fabriken, Spinnereien und Webereien, Eisenbahnwerkstätten usw.). Bei guter Wärmedichte ist es verhältnismäßig leicht; sein Gewicht bei 60 mm Stärke beträgt nur 80 kg/qm (Ausführung der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg).

Es läßt sich nach Einbringung der Rüstung schnell verlegen. Eine besondere Schalung ist hier unnötig. Auf der Außenseite wird entweder eine doppelte Teerpappenlage aufgebracht oder Kautschuk Kitt mit 60 mm starker Kiesschicht darüber. Letztere ist wie beim Holzzementdach an der Traufe durch ein geschlitztes Zinkblech zu besäumen. Die Innenfläche läßt sich bequem weiß streichen, welcher Anstrich für Dächer allgemein **sehr** zu empfehlen ist, auch für Schmieden mit zugesetzten Feuern oder mit mechanischer Rauchabführung. Der vielfach noch anzutreffende braune Anstrich verschluckt zu viel Licht.

Abb. 7 zeigt ein 27 m weit gespanntes Stufendach einer Walzwerkshalle mit Eisenbeton-Ein-



deckung (Ausführung der Akt.-Ges. für Eisenindustrie und Brückenbau vorm. Harkort in Duisburg).

2. Tagesbelichtung. Nach obengenanntem Grundsatz 3 müssen Nachbarbauten so weit voneinander abstehen, daß sie sich nicht gegenseitig das Licht nehmen. Es darf daher der von der Fensterbank des untersten Geschosses nach der Dachtraufe des Nachbarbaues gezogene Fahrstrahl einen Winkel von höchstens 45° mit der Wagerechten einschließen (Abb. 8).

Die Abb. 9 zeigt die Grundrisse zweier mehrgeschossiger neuzeitlicher Fabriken mit je 4 langen Parallelgebäuden. Bei der Anordnung

der Abb. 9a und c ist jener Winkel für das Kellergeschoß zu fast 59° und für das Erdgeschoss zu 55° gewählt (Gebäudebreite = 15 m, Höhe bis zur Traufe = 14 m, Hofbreite = 9 m), daher dunkle Erdgeschosse, besonders an trüben Tagen, und erheblicher Aufwand für künstliche

Abb. 8.

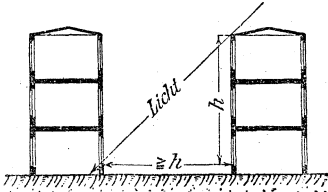
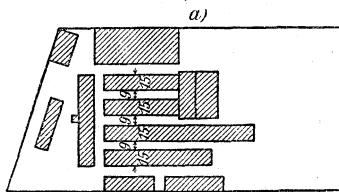


Abb. 9.

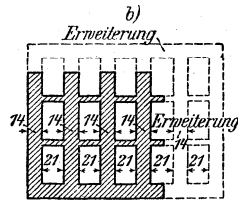


Beleuchtung. Bei der anderen Anlage (Wernerwerk bei Berlin), Abb. 9b und d, ist der Winkel = 45° genommen (Gebäudebreite = 14 m, Höhe bis Traufe = 21 m, Hofbreite = 21 m), hier reichliches Tageslicht in allen Räumen.

Oertliche Lage der Glasflächen:

Alle größeren Glasflächen tunlichst nach Norden legen; falls dies nicht angängig, nach Osten. West- und besonders Südlage geben warme Räume im Sommer. Nordlicht nötig für Mal- und Zeichenräume. Die südlich und südwestlich gelegenen Glasflächen erfordern im Sommer ein Bestreichen mit weißer Farbe zwecks Abhaltung der Sonnenstrahlen. Segeltuchvorhänge weniger gut geeignet wegen Staubansammlung.

Gleichmäßige Belichtung der Räume ist anzustreben, der Helligkeitsgrad daher nicht allein ausschlaggebend.



a. Seitenlicht.

Seitenlicht kann nicht eine gleichförmige Belichtung der Innenräume abgeben, namentlich nicht, wenn die Fenster nur in einer Wand sitzen (Abb. 10).

$$T \lesssim 2h.$$

Je niedriger der Raum, desto geringer muß seine Tiefe sein.

Bei zweiseitiger Beleuchtung (Abb. 11) soll man

$$T \lesssim 4h$$

nehmen.

Abb. 10.

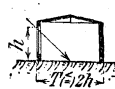
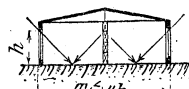


Abb. 11.



Je feiner die Arbeit, desto größer muß der Unterschied zwischen T und $2h$ bzw. $4h$ sein.

Hohe Fenster stets vorteilhaft.

$$\frac{\text{Fensterbreite}}{\text{Pfeilerbreite}} = \frac{1\frac{1}{2}}{1} \text{ bis } \frac{3}{1},$$

je nach dem Arbeitszweck.

$$\text{Fensterhöhe} = 2 \text{ bis } 6 \text{ m.}$$

$$\text{Fensterbreite} = 1\frac{1}{4} \text{ bis } 3 \text{ m.}$$

(Ascherslebener Maschinenfabrik, Abb. 34, hat 15 m hohe und $3\frac{1}{2}$ m breite Fenster.)

Fenstersprossen aus Schmiedeisen geben geringeren Lichtverlust als solche aus Gufseisen oder Holz. Staub und Schmutz auf Fensterscheiben beeinträchtigen die Lichtdurchlässigkeit erheblich, daher alljährlich Fensterreinigung vornehmen. Glasbausteine gestatten auch Verglasung in Wänden nach Nachbargrundstücken und an Verkehrswegen, wo sonst Fensterflächen wegen zu geringer Entfernung von diesen nicht angebracht werden dürfen. Sie halten direktes Sonnenlicht ab und isolieren gut, daher auch für Südwände geeignet. Beispiele: Voith in Heidenheim, Howaldtwerke in Kiel usw.

b. Oberlicht.

Oberlicht ermöglicht eine gleichmäßigere Belichtung als Seitenlicht; namentlich bei genügend hoher Lage über Fußboden.

Durchgehende Oberlichtanordnungen sind den unterbrochenen vorzuziehen, da sie gleichmäßigere Lichtverteilung und besseres Dichthalten der Dachflächen gewährleisten.

Oberlichter werden angeordnet:

- a) parallel zum First (Abb. 12),
- b) winkelrecht zum First (Abb. 13),
- c) teils parallel, teils winkelrecht zum First (Abb. 13i),
- d) bei Sagedächern (Sheddächern) (Abb. 17 bis 21).

Da Schnee auf 45° geneigten Glasflächen abzurutschen beginnt und auf 50° geneigter Fläche kaum noch lagert, so sind die Oberlichter steil anzuordnen. Man erspart dadurch das Reinigen der Glastafeln von Schnee und Ruß, schon also die Dachhaut vor Beschädigung und vermeidet die gefährvolle Dachbegehung. Daher unzweckmäßig, Oberlichter in schwach geneigte Dachflächen einzubauen (Abb. 12a u. b), wie vielfach geschieht. Die früher häufig angewendeten Oberlichtlaternen der Abb. 12c lieferten im Verhältnis zu ihren Kosten zu geringe Lichtmengen und haben wiederholt schon in der Praxis den nachträglichen Einbau von Oberlichtreitern nach Abb. 13 nötig gemacht.

Um bei breiten Räumen mit großen Seitenfenstern auch reichliches Licht in der Mitte zu haben, hat man wohl ein Zwillingdach nach Abb. 12g angeordnet, das auf einem Fachwerkträger lagert, der seinerseits durch weit gestellte Säulen unterstützt wird. Auf der unteren Gurtung des Trägers ruhen sodann zwei Kranbahnen, so daß der ganze Raum durch zwei nebeneinander geschaltete Laufkrane bedient werden kann, ohne daß dieser durch allzu viele Säulen beeinträchtigt wird.

Beispiel: Kesselschmiede der Hauptwerkstätte Karlsruhe (Stützenabstand = 10 m).

Vgl. hierüber Abschnitt: Kranstützen.

Abb. 12.

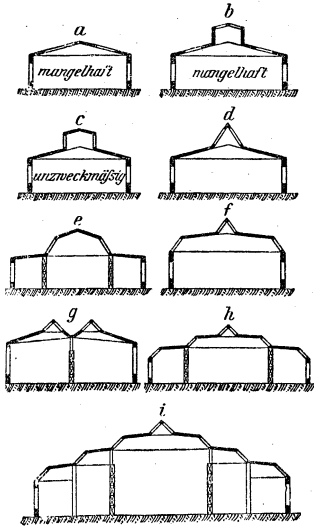


Abb. 13.

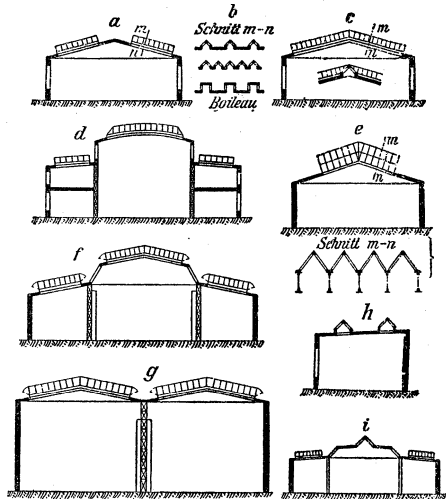
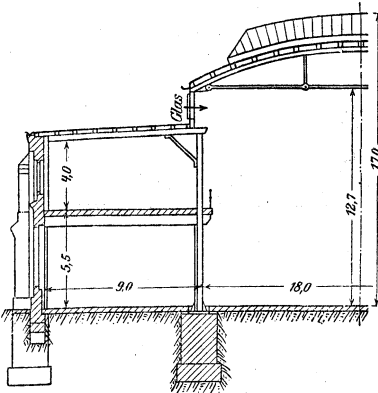


Abb. 14.



Das Boileau-Dach der Abb. 13b gestattet zwar leichte Abführung des Schweißwassers, steht aber den andern Anordnungen der Abb. 13 in bezug auf Lichteinfall nach.

Empfehlenswert die Anordnung nach Abb. 13c bis g, die bei Spannweiten über 15 m meistens kleinere Anlage- und Unterhaltungskosten ergeben als die Anordnung nach Abb. 12d.

Unzweckmäßig ist die nicht selten anzutreffende Anordnung nach Abb. 13h. Die hier längs gerichteten Oberlichter bilden Wassersäcke und erfordern daher sorgfältig abgedichtete Rinnen; daher besser, die Oberlichter quer zur Längsachse des Pultdaches zu legen.

Neuere Fabriken haben selbst bei nur einer Laufkranbahn den nach Abb. 13 angeordneten Oberlichtfirst 12 bis 16 m über Fußboden; die Maschinenbauhalle der ehemaligen Union-Berlin, jetzt zur A. E.-G. gehörig, zeigt ihn 17 m hoch (Abb. 14), die Ascherslebener Maschinenfabrik sogar 18 bis 24 m (Abb. 33 u. 34) und Krupp in Essen selbst 30 m (bei Bogendächern von 32 m Spannweite).

Vrgl. weiter unten Höhe der Kranbahnen über Fußboden.

Bei neueren Bauten ist das erwähnte angenäherte Parabeldach mit seinen beiderseitigen großen Traufen-Glasflächen vielfach zur Ausführung gekommen (Abb. 15*) u. 32). Es wirkt sehr gefällig und liefert reiche Lichtfülle.

Nicht minder häufig kommt jetzt auch das Stufendach vor, entweder mit je einem Oberlicht am First und an der Traufe, oder auch noch mit einem und selbst zwei Oberlichtern dazwischen, also insgesamt 4 bis 8 parallel zum First verlaufenden Glasflächen, vgl. Abb. 7 u. 12f, h u. i.

Beispiele:

- 4 Flächen: Walzwerkshalle geb. von Harkort in Duisburg (Abb. 7),
- 6 „ Neue Benzwerke in Mannheim (Abb. 16a u. b),
- 8 „ Kaiserliche Werft in Kiel (Abb. 12i).

Abb. 15.

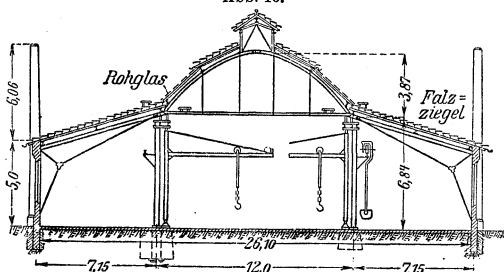
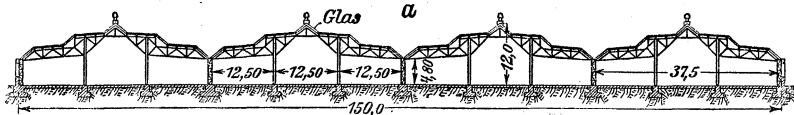
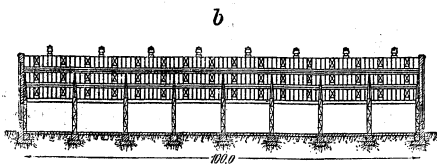


Abb. 16.



Oberlicht wird heutigentags auch in Schmieden (Niles-Werke bei Berlin, Norddeutsche Automobil- und Motoren-A.-Ges. in Bremen-Hastedt usw.) und Eisengießereien (Jaeger in Elberfeld, Abb. 13e, Maschinenfabrik von R. Wolf in Salbke-Magdeburg, Abb. 32 usw.) verwendet.

Die Oberlichter der Sagedächer werden geneigt oder senkrecht gestellt (Abb. 17a u. b). Die erstere Anordnung gewährt besseren



*) Z. d. V. d. I. 1903 S. 1248.

Lichteinfall, die letztere hält das Glas reiner von Schnee und Rufs, auch wird das Schweißwasser nicht unbequem, sie erfordert aber für gleiche Helligkeit grössere Glasfläche.

Die Neigung gegen die Wagerechte richtet sich nach dem höchsten Sonnenstande, also nach dem Breitengrade. Die Sonnenstrahlen dürfen nicht unmittelbar einfallen, da sonst blendendes Licht im Inneren herrscht und Verderben mancher Fabrikate eintritt. Zwischen den Wendekreisen daher senkrechte Glasstellung.

Ist β der Breitengrad, ε die Ekliptik, so muss die Neigung $\alpha = 90 - \beta + \varepsilon$ sein, also z. B. für 50° n. Br. $\alpha = 90 - 50 + 23\frac{1}{2} = 63\frac{1}{2}^\circ$; vgl. daraufhin Abb. 18.

Abb. 17.

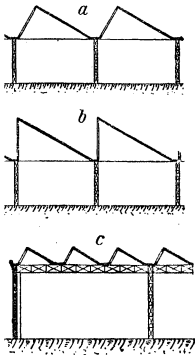
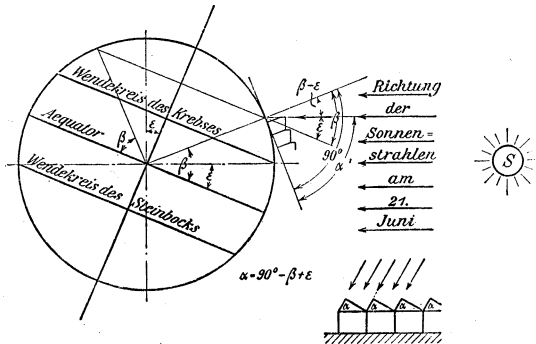


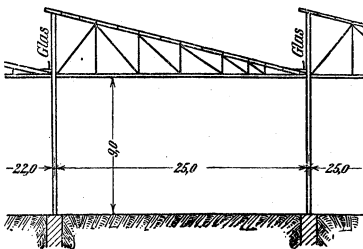
Abb. 18.



In den Kehlen der einzelnen Dachzähne liegen die wegen Schnee-beseitigung und Reparaturen begehbaren, also mindestens 20 cm breiten Rinnen, die gut abgedichtet sein müssen. Empfehlenswerte Ausführung mittels $1\frac{1}{2}$ mm dicker verbleiteter Stahlbleche von Eberspächer in Efslingen.

Nachteil der Sägedächer ist die große Stützenszahl; sie lässt sich nach Abb. 17c durch Unterzüge einschränken.

Abb. 19.



Spannweite gleich 5 bis 25 m. (25 m weite Sägedächer weist z. B. die Walzhalle der Friedrich-Alfred-Hütte in Rheinhausen auf.)

Die Stützenentfernung in der Längsrichtung richtet sich u. Umst. nach der Lagerentfernung der Wellen, falls letztere nicht an die Dachbinder gehängt sind.)*

Beispiele größerer Sägedachbauten in Abb. 19 bis 21. Der Dreh-

*) Ueber Sägedächer vgl. Z. d. V. d. I. 1898 S. 221, 307 u. 861; 1900 S. 342 u. 1197.

und Montagesaal der Daimler Motoren-Ges. in Untertürkheim (Abb. 20) wird von 13, je 10 m weit gespannten und 150 m langen Sägedächern überdeckt (Bimsbeton). *a, a* sind C-Träger für Wellenlager.

Abb. 20.

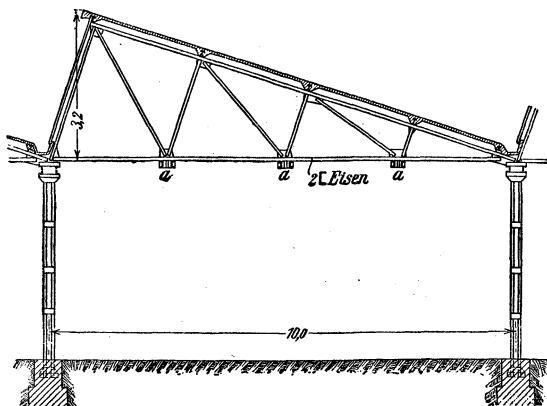


Abb. 21a.

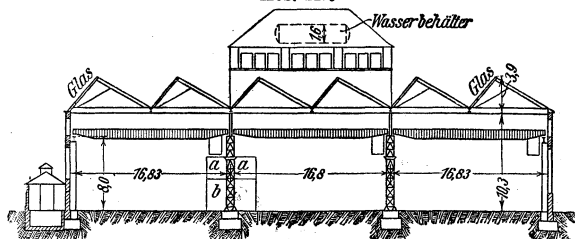
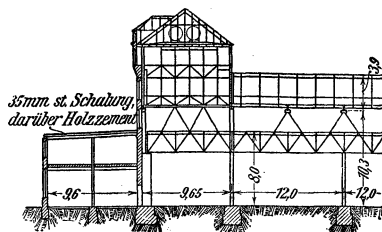


Abb. 21a u. b zeigen die im Jahre 1909 in Mettingen erbaute Kesselschmiede der Esslinger Maschinenfabrik. Der 51 m breite, dreischiffige Bau hat 6 Dachzähne erhalten, deren First 14,2 m über Fußboden liegt, wodurch eine reiche dabei sehr gleichmäßige Belichtung des Inneren erzielt wird. Der in Abb. 21b im Schnitt dargestellte hohe Aufbau ist der Nietturm. Räume *a, a* sind Werkmeisterzimmer, *b* ist die Werkzeugausgabe.

Abb. 21b.



Größe der Oberlichter. Das Lichtbedürfnis ist in den letzten Jahrzehnten sehr gewachsen. Früher sah man eine Oberlichtgröße (im Grundriss gemessen) gleich $\frac{1}{3}$ des Dachgrundrisses für Maschinenbauwerkstätten als ausreichend an, heute nimmt man $\frac{1}{3}$ bis $\frac{4}{10}$ und selbst $\frac{1}{2}$; unter $\frac{1}{4}$ sollte man nicht gehen. Escher, Wyss u. Co. in Zürich z. B. haben bei ihrer im Jahre 1908 erbauten 23 m breiten und 104 m langen Dampfturbinenhalle das Verhältnis $= 0,4$ gewählt, wozu noch Seitenlichter unter den Traufen kommen. Das 9 m hohe Oberlicht dieser Halle ist nach Abb. 12d angeordnet, seine Scheitellage 20,5 m über Fußboden. Lichtwirkung vortrefflich. Neue mechanische Werkstätte des Stahlwerks Osnabrück (Abb. 35) hat über 0,5.

Für die Verglasung ist Drahtglas zweckmäßig, das sehr widerstandsfähig gegen Stoß, Druck und plötzlichen Wärmewechsel ist. Besondere Drahtnetze, wie solche bei Rohglas erforderlich, hier unnötig. Bei 8 mm Stärke kann es begangen werden.

Schweißwasser muß abgeleitet werden, daher Fenstereisen mit besonderen, angewalzten Wasserrinnen empfehlenswert; Abb. 22a u. b zeigen das hierfür viel benutzte Mannstaedtsche Sprosseneisen.

Abb. 22.

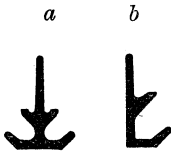
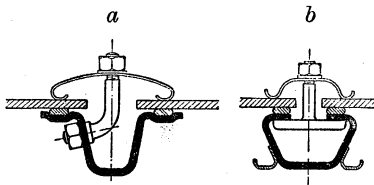


Abb. 23.



Die gegen den Mittelsteg verkitteten Glastafeln müssen hierbei gegen Abrutschen (z. B. durch Kupferstifte u. dgl.) gesichert werden.

Noch zweckmäßiger sind die kittlosen Oberlichter, Abb. 23 bis 25. Die Glastafeln werden hierbei auf Rinneneisen gelagert und durch Federdruck an diese gepreßt.

Zwischen Glas- und Rinneneisen wird entweder ein bleiumhüllter Filzstreifen oder Jutestrick gelegt (Abb. 23a u. b) oder ein Teerstrick

Abb. 24.

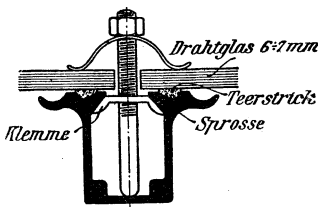
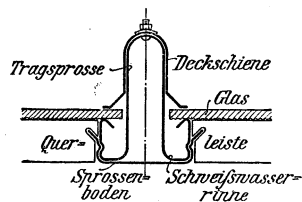


Abb. 25.



(Abb. 24) oder nichts dgl. (Abb. 25). Das Schweißwasser wird bei der Anordnung der Abb. 23 durch kleine angehängte oder angelötete

Zinkblechrinnen abgeführt. Die die Federn sichernden Schraubbolzen dürfen nicht im Rinnenboden verschraubt oder vernietet werden, sondern in der Seitenwand, da in ersterem Fall die Bolzen schnell abrosten und die Rinnen undicht werden.

Bei der Ausführung nach Abb. 24 (Bauart Wessels in Düsseldorf) wird jedes Anbohren der Rinnen vermieden; die Schweißwasserrinnen sind angewalzt.

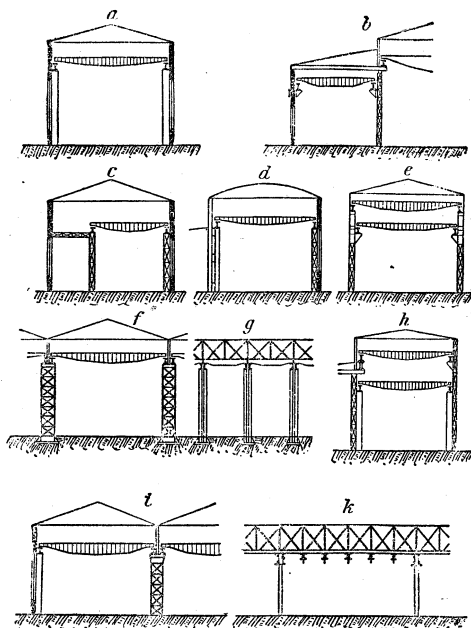
Das Rinneneisen der Abb. 25 (Bauart Eberspächer in Eßlingen) besteht aus einer L-förmigen, aus verzinnem Stahlblech gebildeten Tragsprosse mit angepresstem Sprossenboden. Die Schweißwasserrinnen sind an ersterer angebogen. Auf ihren Rand stützen sich die Glas tafeln, die durch eine federnde Deck schiene angedrückt werden und durch besondere Querstützen gegen Abrutschen gesichert sind. Querleisten am unteren Ende der Tragsprossen hindern den Austritt der Wärme und das Eindringen von Schnee und Regen in den überdeckten Raum.

Bei allen Oberlichtern ist für wirksame, das Eindringen von Regen oder Schnee verhindernde Lüftungseinrichtungen Sorge zu tragen, sei es durch Dunstabzüge oder durch dem First aufgesetzte Luftschächte oder Lüfter, sei es durch einstellbare Lüftungsklappen (vgl. „Lüftung“).

3. Kranstützen. Die Bahnen der Laufkrane werden in älteren mehrschiffigen Anlagen vielfach durch auskragende Wand- und Dachsäulenstützen getragen.

Jetzt trennt man mit Recht die Kranbahnunterstützung von der des Daches. Die Abb. 26a bis k geben einige Ausführungsformen wieder. Abb. 26a zeigt die gewöhnliche Art in einschiffigen Anlagen mittels Pfeilervorlagen auf beiden Seiten. Ihre Stärke richtet sich nach der Tragkraft und dem Eigengewicht des Kranes. Abb. 26c zeigt eine Anordnung, bei der zwecks Verminderung der Kranspannweite

Abb. 26.



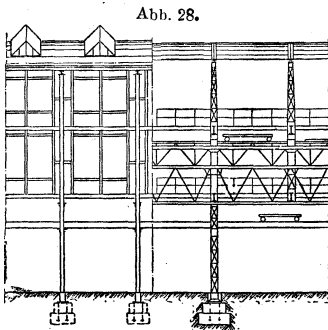
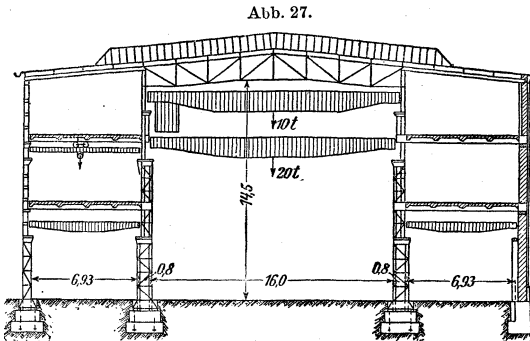
eine besondere Stützenreihe in etwa 5 bis 6 m Abstand von der einen, mit Werkbänken besetzten Längswand aufgestellt ist. Diese Stützen, die gegen die letztere abgesteift werden müssen, gestatten zwar leichtere und billigere Krananlagen, aber weniger einen freien Verkehr. Ausführungsbeispiele: Lokomotivwerkstätte Linz a. d. Donau, dsgl. Eßlingen.

Abb. 26b u. d zeigen getrennte Kran- und Dachstützen. Abb. 26d verdient jedoch den Vorzug.

Abb. 26f u. g geben eine weit verbreitete neuere Ausführung wieder,

bei der die Kranbahn aus fischbauchförmigen Zweistützentragern gebildet ist, während die Dachstützen aus Fachwerk bestehen.

Abb. 26e u. h zeigen die von Nordamerika entlehnte Doppelkrananordnung mit zwei übereinander geschalteten Laufkranen. Gewöhnlich liegt der stärkere



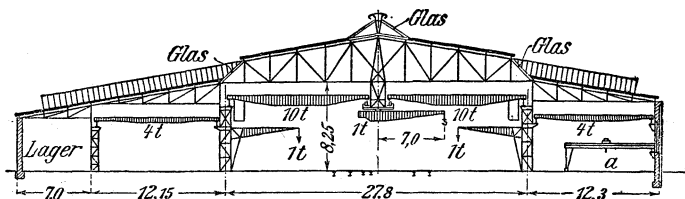
Kran zu oberst, da die schwereren Maschinenteile vielfach auch eine größere Hubhöhe bedingen. Aber auch die gegenteilige Schaltung kommt vor, vgl. Abb. 27 u. 28 (Humboldt in Kalk).

Um die Zahl der Kranstützen zwecks freieren Verkehrs und besserer Uebersichtlichkeit zu beschränken, wird die als Fachwerkträger ausgebildete Dachstütze entsprechend kräftig bemessen, so daß die Säulen bis auf 18 m und mehr auseinandergerückt werden können (Abb. 26i u. k).

Sollen die Arbeitsräume überhaupt frei von Säulen bleiben und dennoch durch ein nebeneinander geschaltetes Kranpaar bestrichen werden, so wird der die mittleren Kranbahnen stützende Mittelträger an die Dachbinder gehängt. Diese fallen infolgedessen zwar schwerer aus, aber der erzielte Vorteil großer Bewegungsfreiheit sowie der Verfügung über zwei leichtere und handlichere Krane statt über einen einzigen schweren Kran überwiegt doch, besonders dann, wenn in den Räumen sperrige Stücke transportiert werden.

Bemerkenswerte Anlagen dieser Art sind, abgesehen von neueren Hellingbauten, u. a. das mit Gaskraftmaschinen ausgestattete 37 m lange und 17 m breite Krafthaus der Herbst 1908 in Betrieb genommenen Rheinischen Gasmotorenfabrik von Benz & Co. in Mannheim (2 Laufkrane von je 7,5 m Stützweite und 12 bzw. 5 t Tragkraft), sowie die neue Brückenbauhalle der Hilgerswerke in

Abb. 29.



Rheinbrohl. Abb. 29 zeigt der letzteren Querschnitt. Zwei elektrisch betriebene Laufkrane von je 12,5 m Spannweite und 10 t Tragkraft bestreichen den ganzen 80 m langen und 27,8 m breiten Hauptraum. Ihre mittleren Laufbahnen sind an den Dachbindern aufgehängt, wodurch die Spannweite beider Krane auf die Hälfte vermindert ist. An diese Kranträger ist sodann ein leichter Schwenkkran von 1 t Tragkraft und 7 m Ausladung gehängt, um so die etwa auf dem mittleren Schmalspurgleis eingebrachten Arbeitstücke auf die linke oder rechte Zulage abladen oder sie von einer dieser Zulagen auf die andere oder auch auf das mittlere Gleis bringen zu können. An der Säule angebrachte Drehkrane von je 1 t Tragkraft und 5 bis 8 m Ausladung gestatten bequeme Handhabung der Arbeitstücke. Außerdem ist jedes Seitenschiff mit einem 4 t-Handkran ausgestattet und eins davon mit drei fahrbaren Kranbohrmaschinen (*a* in Abb. 29). Mittelhalle hat Stufendach mit 4 Oberlichtflächen, jedes Seitenschiff Dreieckdachreiter, also neben reicher Kranausrüstung auch reichliches Tageslicht. Die Anlage hat sich gleich den übrigen dieser Art genannten aufs beste bewährt. Die neue, 130 m lange, säulenfreie Eisenbauwerkstätte der Maschinenbauanstalt Humboldt in Köln-Kalk hat sogar 40 m Spannweite und nach Art der Abb. 29 zwei nebeneinander geschaltete Kranfelder mit je 2 Laufkranen von 5 und 10 t Tragkraft sowie 18,5 m Stützweite.

Auch in amerikanischen Fabriken findet man derartige, an die Dachbinder gehängte Kranbahnen, u. a. in der Haupthalle (Abb. 30), Schmiede (Abb. 31) und Gießerei der American Bridge Co. in Ambridge bei Pittsburg.*)

Gebäudelängen über 100 m werden zweckmäßig mit zwei Kranen ausgestattet. Man kann die Laufkrane erheblich entlasten durch Konsolkrane, wovon je einer eine Langseite bedient. Abb. 32 zeigt den Quer-

*) Vrgl. Reissner, Amerikanische Eisenbauwerkstätten S. 56, 69 u. 70.

schnitt der mustergültigen neuen dreischiffigen Gießerei von R. Wolf in Salbke-Magdeburg. Länge 120 m, Breite ohne die Nebenräume $41\frac{3}{4}$ m. Im Mittelschiff zwei Laufkrane und zwei Konsolkrane. Jeder Kran elektrisch betrieben und von angehängter Führerbühne aus gesteuert. Die Konsollaufkrane (von Flohr-Berlin) haben 5,8 m Ausladung und 5 t Tragfähigkeit. Ihre Laufkatzenbahnen liegen 8 m über Fußboden. Kippmoment wird durch oberes und unteres Rollenpaar von 0,42 m Dmr. auf Hallengerüst übertragen. Drei Motoren. Minutl. Geschwindigkeit für Kranfahren = 120 m, Lastheben = 8 m, Laufkatzenbewegung = 10 m. Ihnen

Abb. 30.

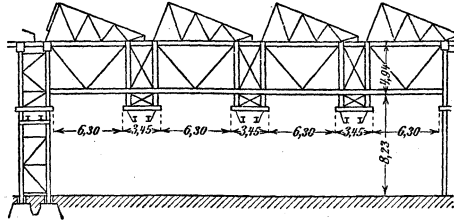


Abb. 31.

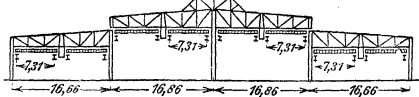
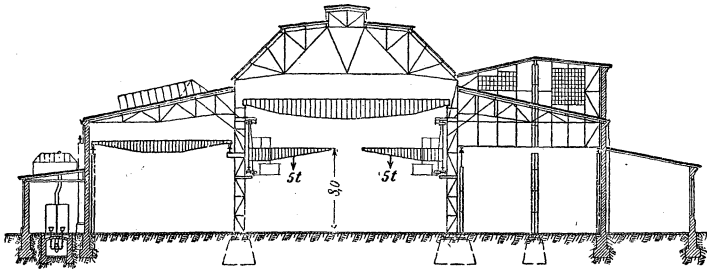


Abb. 32.



wird leichte Bewegungsfähigkeit und einfache Bedienung nachgerühmt; besonders nützlich beim Zusammensetzen und Abheben leichter Formkästen, Ausheben von Modellen und Transport von Formen. Auch bei Jäger in Elberfeld, bei der Hannov. Maschinenbau-Akt.-Ges. in Hannover-Linden und a. a. O. eingebaut.

Besondere Ueberlegung erfordert die richtige Bemessung der Hubhöhe und der Tragkraft des Krane; Fehler in diesen beiden Mafsen rächen sich später bitter. Die Abb. 33 u. 34 (Gießerei und Montagehalle der Ascherslebener Maschinenfabrik) zeigen große Verhältnisse: Hub 16 und 10 m, Traglast 30 und 15 t. (In amerikanischen Lokomotivfabriken Krane bis 100 t Tragkraft.)

Abb. 33.

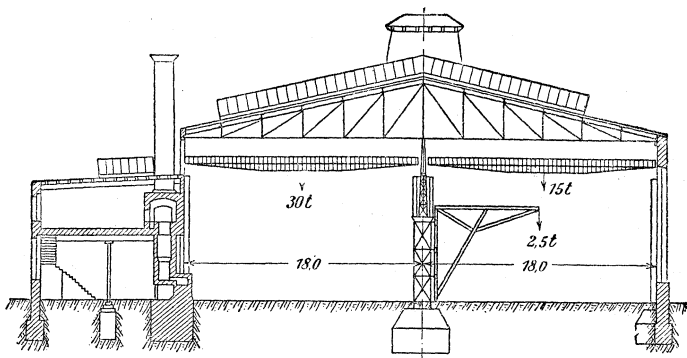


Abb. 34.

Bei großer Tragkraft ruht die Kranbahn auf einer Längswand auch auf Eisenstützen (Abb. 35, Neue mechanische Werkstatt des Stahlwerks in Osnabrück, vgl. auch Abb. 33 u. 34).

Großer Hub bedingt bei untenliegenden Kranträgern große Gebäudehöhe (und hohe Heizungskosten), daher bei Abb. 34 Scheitelhöhe der Oberlichter 24 m über Fußboden, Hub rd. 16 m.

Gebäudehöhe läßt sich um einige m verringern durch Krane mit obenliegenden Hauptträgern (vgl. Abb. 36). Hier ist Hub = 7 m bemessen. Die vorbildliche Halle (Eisenwerk Wülfel) zeichnet sich durch ungemein reiche

Tagesbelichtung aus und wirkt im Inneren sehr vorteilhaft.

Die Eisenstützen nebst den etwa vorhandenen eisernen Unterzügen müssen

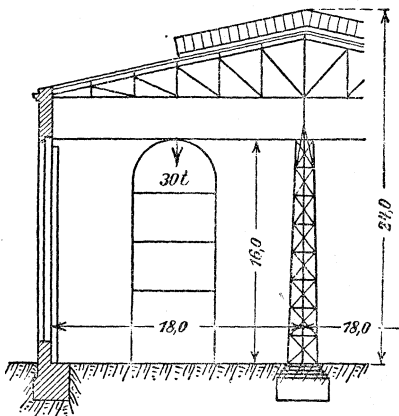
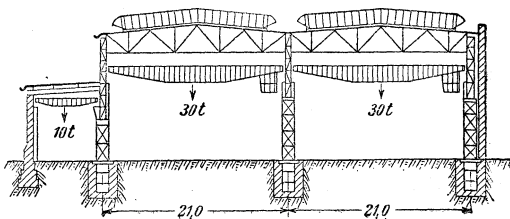


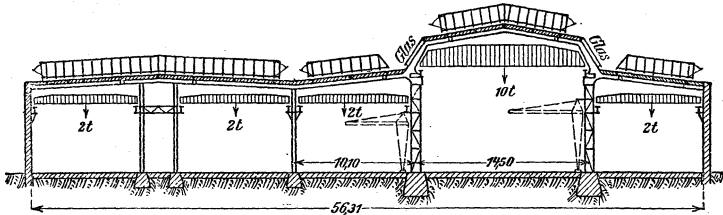
Abb. 35.



in Räumen, worin leicht brennbare Stoffe verarbeitet oder gelagert werden, mit Rabitzputz, Moniermasse, Korkschalen usw. umhüllt werden, damit sie bei Brandfällen standfest bleiben; daher Eisenbetonbauten u. U. billiger.

Schmiedeiserne Stützen usw. verlieren schon bei 600° ihre Festigkeit und knicken unter ihrer Belastung zusammen, wobei die Unterzüge

Abb. 36.



die Umfassungswände einreißen. Gufseiserne unverhüllte Säulen usw. vertragen nicht in heißem Zustande das Bespritzen mit Wasser.

Eisenträger dürfen nie unmittelbar in dem Wandmauerwerk aufrufen, sondern stets auf Blechplatten, da sonst Längendehnung der Träger im Hochsommer usw. die Wände beschädigt.

Alle ausragenden Fußteile der Eisensäulen sind unter den Fußboden zu legen, damit die Arbeiter nicht fallen.

4. Treppen. Treppen ohne Absatz (Podest), Abb. 37a, geben Anlaß zu Unglücksfällen, besonders zur Winterzeit, wenn am Schuhwerk Schnee haftet. Daher nach je 10 bis 15 Stufen einen Absatz (Ruheplatz) in Mindestbreite der Treppe anlegen (Abb. 37b).

Neigung der Treppen tunlichst nicht steiler als 45°.

Mindestbreite des Auftritts a . . . = 26 cm

Höchstmaße der Steigung s . . . = 20 „

Für Haupttreppen $a = 30$ cm, s . . . = 16 bis 17 cm

„ Nebentreppen $a = 27$ bis 28 cm, $s = 18$ „ 20 „

Das Steigungsverhältnis der Treppe ist in allen Stockwerken beizubehalten.

Geringste Treppenbreite bei einem Verkehr in beiden Richtungen von höchstens 50 Arbeitern 1,25 m.

Glattwerden der Stufen durch Abnutzung ist zu verhindern. Holzbelag oder Gummi da ratsam, wo Stufen durch Oel oder Nässe schlüpfrig werden können.

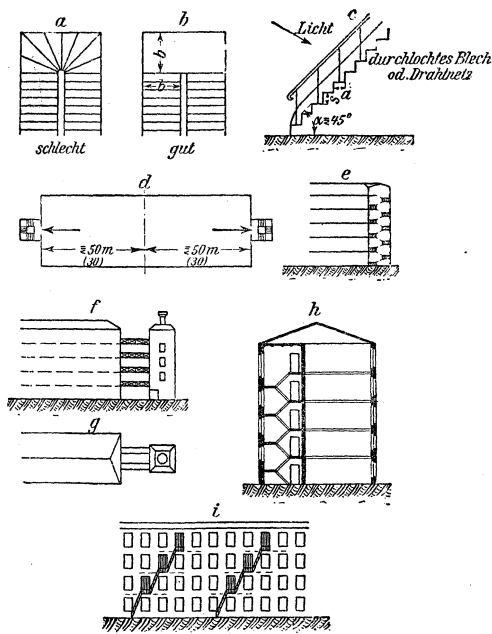
Alle Treppen mit festem Geländer und Handläufer versehen; freitragende Treppen u. Umst. außerdem noch mit einer etwa 25 cm hohen Seitenverkleidung (Drahtnetz oder durchloches Blech neben den Stufen) (Abb. 37c), um Verletzungen durch herabfallende Transportteile zu verhüten. Wendeltreppen, sogen. Hexentreppen und sonstige Künsteleien möglichst vermeiden.

Treppen feuersicher anlegen. Granitstufen zerspringen in der Hitze. Bauordnung hierbei beachten! Vorschriften hierüber in den Städten

verschieden; z. B. bei einer Gebäudelänge über 50 m zwei Treppenhäuser (Abb. 37d) anlegen, anderswo soll die Treppe höchstens auf

25 bis 30 m Entfernung von jeder Stelle des Arbeitsraumes erreichbar sein.

Abb. 37.



Durch Treppenhäuser werden die bei Brandfällen gefährlich wirkenden Deckendurchbrechungen vermieden.

In feuergefährlichen Betrieben ist Treppe in feuersicheren Schacht zu legen (Abb. 37d, e u. h). Türen müssen nach dem Treppenhause aufschlagen. Um Verqualmen des letzteren zu verhüten, schlägt Oppermann getrennte Lage des Treppenhauses nach Abb. 37f u. g vor. Uebergangsbrücken dürfen aber nicht ringsum eingehüllt werden, sondern außer dem Schutzgelande höchstens ein seitlich offenes Blechdach haben.

Bei süddeutschen Getreidemöhlen wird Treppenhause mit Mühle oder Silospeicher durch

offene Altane verbunden, um jede Durchbrechung der inneren Umfassungswände zu vermeiden.

Sogenannte Sicherheits- oder Nottreppen* (aus Eisen), Abb. 37i, ersetzen oft die zweite Treppenanlage. Vor den betreffenden, als Türen ausgebildeten und nach aufsen aufschlagenden Ausgangsfenstern ist Treppenabsatz anzulegen. Das unterste Ende ist in der Regel hochgezogen und wird erst bei Brandgefahr herabgelassen.

Bei verhältnismäßig niedrigen Arbeitsräumen werden zuweilen Rampen statt der Treppen gewählt. Bei einer Steigung bis etwa ein Viertel ohne Fuß- oder Querleisten, darüber mit solchen.

Stets für genügende Belichtung sorgen. Das Licht soll die Stufe von vorn treffen, nicht von oben.

Die erforderlichen Beleuchtungsvorrichtungen müssen nicht nur vorhanden, sondern auch jederzeit wirksam sein!

Gesetzliche Vorschriften beachten (§ 120 der R.-G.-O., § 96 des Unfallversicherungsgesetzes, § 2 des Haftpflichtgesetzes, allgemeine Rechtsgrundsätze).

5. Tore und Türen müssen stets in der Ausgangsrichtung aufschlagen.

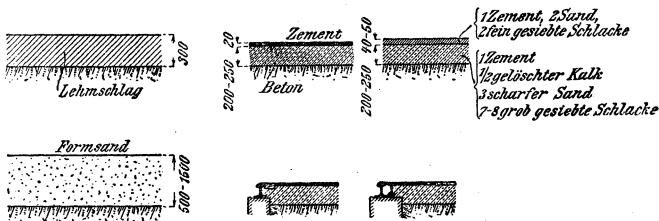
Sollen durch Tore Eisenbahnwagen verkehren, so ist ihre Breite mindestens gleich 3,35 m zu wählen (größte Wagenbreite = 3,15 m), ihre Höhe mindestens gleich 4,3 m (gedeckte Wagen mit Bremshaus). Wellenleitungen an solchen Toröffnungen genügend hoch legen. Bei Durchfahrten nach Lichthöfen und Einfahrten in Fabrikhöfe ist auf die Fahrzeuge der Feuerwehr Rücksicht zu nehmen. **Luken** sind wegen ihrer großen Gefährlichkeit tunlichst zu vermeiden, mindestens aber mit ausreichenden Schutzvorrichtungen zu versehen.

6. Fußböden. Die Zusammenstellung der Abb. 38 bis 40 zeigt die Fußbodenarten verschiedener Werkstattabteilungen.

Für Schmieden ist Lehmschlag oder Kopfsteinpflaster zweckmäßig. Ersterer wird in drei je 10 cm dicken Schichten eingebracht, jede muß kräftig gestampft werden, bis sie schwitzt. Der obersten Schicht werden Feilspäne und Salzwasser beigemischt. Vor Ingebrauchnahme aber zwei bis drei Wochen täglich abrausen, damit Rissebildung vermieden wird (Abb. 38).

Für Eisengießereien ist $\frac{1}{3}$ bis $1\frac{1}{3}$ m tiefer Formsandboden empfehlenswert (für Herdformerei unbedingt nötig); für Lackierereien fugenloser Boden (Asphalt oder Betonschicht mit Zementauflage). Ziegelboden in Zementmörtel ist da, wo starker Verkehr herrscht und

Abb. 38.



schwere Lasten bewegt werden, unvorteilhaft, da die Ziegel mit der Zeit zerbröckeln und, falls nicht sofort Ausbesserung erfolgt, dadurch zu Unfällen Anlaß geben.

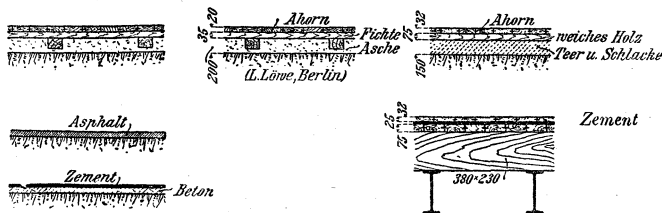
In Drehereien, Schlossereien, Montierräumen ist **mindestens** an den Arbeitsstellen und Werkbänken Holzboden zu verlegen (Dielenbelag auf Kreuzholz oder besser Holzklotzpflaster). Solcher ist für die Arbeiter wärmer, daher gesunder als der Beton-, Granit- oder Pflasterboden. Auch werden die zu Boden fallenden Arbeitstücke auf Holz weniger beschädigt. Beton ist zwar etwa 4 Mark für 1 qm billiger als Holzklotzpflaster, seine Wahl für diese Arbeitsstellen aber eine falsche Sparsamkeit.

Die Holzklotze dürfen nur auf festem Untergrund ruhen, sonst bilden sich im Betriebe leicht Löcher, die Unfälle veranlassen. Daher empfehlenswert, sie auf eine 15 bis 25 cm dicke Betonschicht zu setzen, die zur besseren Abdichtung mit 1 cm dicker Asphaltlage überzogen

wird. Fugendichtung durch Asphalt oder Zementmörtel, wobei wohl zur Ersparnis die unteren zwei Drittel der Fugenhöhe mit Kies gefüllt werden. Gut ist es, die 8 bis 15 cm hohen Klötze mit Zinkchlorid oder Teeröl zu tränken. Man verwendet bei uns meistens Buchenholz, Hirnholz oben.

Statt des Rechteckquerschnitts wird in Frankreich auch die teurere Sechseckform genommen, um eine gefälligere Wirkung zu erzielen, Abb. 40. In Nordamerika ist man entgegengesetzt vorgegangen und hat die Klötze durch Ablängen der billigen Wipfelenden von Nadelhölzern hergestellt. Die größeren Zwickelfugen werden zum Teil mit Kies gefüllt

Abb. 39.



und mit Zementmörtel ausgegossen, Abb. 40. Bei Dielenbelag ist es sehr empfehlenswert, zwei Lagen von gekreuzten Dielen zu verlegen, wovon die obere amerikanisches Ahornholz. Entweder Kreuzholzunterstützung (Abb. 40) oder eine 15 cm starke gestampfte Teerschlackenlage.

Abb. 40.



In amerikanischen Stockwerkbauten werden die Decken vielfach nach Abb. 39 ausgeführt, wobei zwischen die Dielenlagen eine $2\frac{1}{2}$ cm starke Zementschicht kommt. Diese „fugenlosen“ Decken sind der Ausbreitung von Feuer hinderlich.

Betonfußboden hat sich bei genügender Stärke in vielen Fabriken bewährt, auch in Montagewerkstätten. Die 20 bis 25 cm dicke Betonschicht wird mit einer 1 bis 2 cm starken Zementlage überzogen und vor Ingebrauchnahme mindestens 14 Tage lang täglich abgebraust. Auch Schlackenbeton aus Zement, Kalk, Sand und grober Steinkohlenschlacke in 25 bis 30 cm Stärke kommt mit Erfolg zur Anwendung (Abb. 38). Er ist zähe und wird durch die Erschütterung der Werkzeugmaschinen nicht so leicht rissig.

Wo Eisenbahngleise in das Innere münden, auf denen die Fahrzeuge mittels Brechstangen verschoben werden (Lokomotiv- und Wagenfabriken, dsgl. Eisenbahnwerkstätten), empfiehlt es sich, unmittelbar neben die Schienenaufsenkante eine leicht auswechselbare, 10 cm breite Bohle oder besser noch eine umgekehrte Schiene bündig mit dem Boden zu verlegen, damit die Brechstangen den Betonboden nicht zerdrücken (Abb. 38). An manchen Orten ist der Betonfußboden wegen dieses Zerbröckelns bei fehlender Schutzleiste unbeliebt geworden, aber mit Unrecht.

7. Verteilung der Energie. Hohe Geschwindigkeiten verringern die Anlagekosten. Umlaufzahl der Hauptwelle in der Minute:

- a) bei langsam gehenden Arbeitsmaschinen $n = 100$ bis 150;
- b) bei schnell laufenden $n = 200$ bis 400.

Vereinzelt ist man in Holzbearbeitungswerkstätten auch bis 500 i. d. Min. gegangen. Lagerentfernung $l = 1,5$ bis 4 m, und zwar a) bei beliebigem Sitz der Riemen- und Seilscheiben sowie der Zahnräder zwischen den Lagern:

$$l = 250 \sqrt{d};$$

falls aber die genannten Triebwerksteile nahe den Lagern sitzen:

$$l = 300 \sqrt{d}.$$

Hierin bezeichnet d den Wellendurchmesser in mm.

Bei großer Energieabgabe einzelner Wellenstränge l entsprechend kleiner. Bei der Festlegung des Wellendurchmessers die biegenden Kräfte beachten. Zweckmäßig, Arbeit der Kraftmaschine in der Mitte der Wellenleitung auf diese zu übertragen, um durch Teilung der Energie schwächere Wellen zu erhalten.

Auf sorgfältige Verlegung der Wellenleitungen ist besonderer Wert zu legen, damit leichte Beweglichkeit und kalte Lager erzielt werden.

Die Lagerung der Wellen an den Dachbindern bedingt kräftige Dachstühle; besser ist die Lagerung an den Wänden, Säulen, Unterzügen oder auf besonderen Mauerfüßen.

Wo, besonders in feuergefährlichen Betrieben, Wellenleitungen durch Decken oder Zwischenwände treten, sind diese möglichst klein zu haltenden Durchbrechungen mit Blechen oder Einsatzkästen zu schließen.

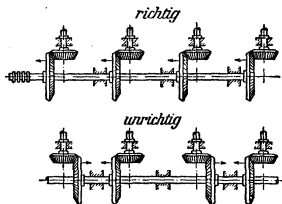
Der Wellenplan mit der Maschinengruppierung ist dem Fabrikationsgange eng anzupassen. Hiernach richten sich wiederum die Gruppierungen der Werkstattabteilungen und die Anordnung der Bauten betreffs ihrer Pfeileranlagen, Säulenstellung usw. Architekt und Ingenieur müssen **gemeinsam** nach diesem Gesichtspunkt entwerfen.

Ueber Energieverluste der Wellenleitungen vgl. Z. d. V. d. I. 1892 S. 1113 u. 1149, dsgl. 1893, S. 1131.

Wo dieselbe Umlaufzahl bei allen Wellenleitungen genau innegehalten werden muß, wie z. B. in Spinnereien und Websälen, erfolgt die Energieabgabe durch Zahnräder oder durch endlosen Seiltrieb. In beiden Fällen besondere Wellen- oder Seilschächte zweckmäßig. Bei dem Kreisseiltrieb ist senkrechte Spannwagenlage wegen Lager-schmierung der wagerechten vorzuziehen.

Bei Gruppenantrieb durch Kegelräder sind letztere stets auf dieselbe Seite zu legen (Abb. 41a). Der Gesamtschub ist durch Bunde oder Kammzapfen aufzunehmen. Eine gleichmäßige Verteilung der Antriebsräder auf beide Seiten zwecks Aufhebung des Achsialdrucks (Abb. 41b) ruft wegen der wechselnden Energieabgabe an den einzelnen Uebersetzungsstellen Pendeln der Hauptwelle hervor, ist also zu vermeiden. Trotzdem kommen auch neuzeitlich noch diese unrichtigen Anordnungen vor.

Abb. 41a u. 41b.



Bei langen Wellen machen sich die Temperaturänderungen geltend, weshalb Ausdehnungskupplungen einzuschalten sind. Die einzelnen Wellenstücke sind im allgemeinen 6 bis 7 m lang, daher Verbindungskupplungen einbauen; z. B. Hülsenkupplung bis 50 mm Wellendurchmesser; Sellers-Kupplung bis 80 mm Dmr.; darüber Scheibenkupplung. Kupplung immer schwacher Punkt, daher sie stets **neben** Lager setzen.

Tunlichst Ringschmierlager nehmen, die wenig Wartung bei großer Betriebsicherheit erfordern. Beliebte offene Hängelager wegen leichten Ein- und Ausbringens der Wellen. Bei wagerechtem Riemenzug diesen auf den durchgehenden Lagerarm richten, damit im Falle eines LöSENS der Schalen die Welle nicht herausgerissen wird.

Bei senkrechtem Riemenzug ist Aussteifung der offenen Hängelager durch Schraubenanker empfehlenswert. Lager und deren Querträger werden zweckmäßig durch Klemmen befestigt, was später bei einem Fabrikationswechsel bequeme Versetzung gestattet.

Schnell laufende Riemen*) sind wirtschaftlich vorteilhaft. Man nehme ihre Geschwindigkeit bis 30 m/sk. Sie müssen dann aber auch sorgfältig genäht oder besser geleimt, stets gut gestreckt und ausgeglichen sein. Für feuchte Räume Gummiriemen mit Leinwandeinlagen.

Hanfseiltrieb arbeitet vorteilhaft mit $v=20$ bis 25 m/sk. Beanspruchung des Seiles $= 6 \text{ bis } 7 \text{ kg/qcm}$, Zahl der Seile $\approx \frac{\text{Umfangskraft}}{6 \times \text{Seilquerschnitt}}$. Dazu 1 bis 3 Reserve-seile. Gängiger Seildmr. = 4 bis 5 cm. Nutenwinkel $\approx 45^\circ$.

Am besten wagerechter oder schwach geneigter Trieb.

Seiltrieb**) mit Einzelseilen (Dehnungsspannung) erzeugt bei neuen Seilen große Lagerdrücke, was bei Kreisseiltrieb (Belastungsspannung) nicht zu befürchten ist.

Drahtseilbetrieb ist durch die elektrische Energieübertragung fast verdrängt worden, leistet aber u. Umst. immer noch gute Dienste. Abstand der Seilrollen = 25 bis 125 m. Seilgeschwindigkeit bei Gußeisenscheiben bis 30 m/sk.

*) Ueber schnell laufende Riemen vrgl. Z. d. V. d. I. 1889 S. 113; 1893 S. 15, 970 u. 1150; 1899 S. 1631; 1901 S. 1683.

**) Näheres in Z. d. V. d. I. 1892 S. 593; Eng. Record 1896 S. 487; Le Génie Civil 1903 S. 218.

Elektrische Energieübertragung gestattet größere Freiheit in Säulenstellung, Fensteranordnung usw. als die mechanische und bringt die langen Wellenleitungen und Riemenübertragungen z. T. in Fortfall, verringert also die Unfallgefahren und gewährt bessere Uebersicht und besseres Licht, sowie staubfreiere Luft, da diese von den sonst erforderlichen vielen Riemen ständig gepeitscht wird. Wirkungsgrad für Stromerzeuger, Leitung und Motor = 0,70 bis 0,75.

Aufstellung der Elektromotoren auf Steinsockeln, Eisenstützen oder Wandkonsolen. Grubenaufstellung hat sich im allgemeinen nicht bewährt. In stauberzeugenden Räumen Motor gut einkapseln.

a) **Einzelantrieb** vorteilhaft

1. bei größeren Werkzeugmaschinen, besonders bei versetzbaren,
2. bei entfernt vom Kraft Hause aufgestellten Arbeitsmaschinen,
3. bei sehr schnell laufenden Maschinen (Holzbearbeitung, Kreisel-pumpen, Ventilatoren usw.),
4. bei Maschinen mit unterbrochenem Betrieb (Drehscheiben, Schiebebühnen, Hebezeugen, Seidenwebereien wegen des häufigen Fadenreißens, auch bei Schnellpressen, die wegen des Herrichtens der Druckformen einen unregelmäßigen Betrieb haben usw.).

Energieverbrauch hier stets nahezu gleich der geleisteten Arbeit. Sobald Maschine still steht, Arbeitsverbrauch = null, während die mechanische Uebertragung auch während des Leerlaufs Energie verzehrt. Beispielsweise verbrauchen die leer laufenden Wellenleitungen in einer mehrgeschossigen Berliner Fabrik 90 PS bei einer Gesamtleistung der Betriebsmaschine von 280 PS.

Einzelantrieb namentlich für Ringspinnmaschinen vorteilhaft. Diese arbeiten mit veränderlicher Umlaufzahl (je nach Durchmesser der Spule, nach Garn und Baumwollensorte). Einphasen-Kollektor-Motoren mit Déri-Schaltung hierfür sehr geeignet.

Bei ausgeführten Anlagen saugen die eingekapselten Motoren aus Kanälen kühle Außenluft an und geben die erwärmte an andere Kanäle ab. In diesen liegen auch die Stromkabel, so daß die Spinnssäle frei von solchen sind und infolge Fortfalls aller Riemen einen freien Ueberblick gewähren.

In der Spinnerei von Festi Rasini bei Verona sind z. B. 65 derartige Motoren von je 7 PS in einer Reihe hintereinander aufgestellt.

b) **Gruppenantrieb** zweckmäßig bei kleinen Arbeitsmaschinen, da kleine Elektromotoren geringeren Wirkungsgrad haben als stärkere Motoren, auch mehr Wartung und Unterhaltung erfordern. Anlagekapital wird durch b) ermäßigt. Andererseits wieder größerer Bedarf an Wellen, Lagern und Riemen und sinkender Wirkungsgrad der ganzen Gruppe bei Abschaltung eines Teils der Maschinen.

In amerikanischen Fabriken wählt man in der Regel Einzelbetrieb, sobald der Motor mindestens etwa 5 PS leisten muß, darunter Gruppenantrieb.

Die einzelnen Gruppen sollen wiederum möglichst nach dem Fabrikationsgange gebildet und aufgestellt werden. Leider nicht immer durchführbar. Größe des Gruppenmotors 10 bis 20 PS.

Gruppenantrieb auch für ältere Geschosfbauten, besonders in L- oder H-Form, vorteilhaft, da Fortfall aller halbgeschränkten und sonstigen Ueber-

tragungsriemen und der damit verbundenen zahlreichen Betriebsstörungen. Letztere bei großer Belegschaft von erheblicher finanzieller Wirkung. (Beispiel: König & Ebhardt in Hannover.)

Mechanischer Wellenantrieb bedingt in den Drehereien eine Aufstellung der Drehbänke usw. parallel zur Längsachse (Fensterwand) des Raumes.

Fehlt daher Oberlicht, so haben die Arbeiter nach der Mitte zu schlechteres Licht als die nahe dem Fenster. Dagegen gestattet elektrischer Einzelantrieb Aufstellung der Werkzeugmaschinen winkelrecht zur Fensterwand, so daß die Arbeiter ziemlich gleichmäßig Licht von links erhalten. Auch Laufkranbedienung ist hierbei bequem einzurichten.

Ueber die **Kosten** der Energieerzeugung siehe Eberle, Z. d. V. d. I. 1898 Nr. 51; 1899 S. 297. Ueber Wirtschaftlichkeit des elektrischen Einzelantriebs s. Z. d. V. d. I. 1900, S. 1189.

8. Heizung.*) Grundsatz: Die Arbeiter sollen sich nicht warm arbeiten, sondern der Arbeitsraum soll angemessen erwärmt sein; dann wird, unter sonst gleichen Verhältnissen, bessere Arbeit geleistet, sowohl der Güte als auch der Menge nach. In den Abteilungen, wo die Arbeiter viel körperliche Bewegung haben, wie in Schlossereien und Montageräumen, genügt eine geringere Luftwärme als in solchen, wo die Arbeiter stehen (Dreherei) oder sitzen (Sattlerei, Feinmechanik usw.). Demgemäß rechnet man im allgemeinen:

12° C. für allgemeine Maschinenbauanstalten, Kesselschmieden, Montageräume der Lokomotiv- und Wagenfabriken, sowie Eisenbahnwerkstätten, Stellmachereien usw.,

15° für Drehereien, Mechaniker, elektrotechnische Arbeitsäle, Sattlerei, Tischlerei usw.,

18 bis 20° für Lackierereien,

20 bis 22° für Spinn- und Websäle im Winter. (Letztere müssen im Sommer bis auf 25° herabgekühlt werden, da ein Teil der eingeleiteten Energie sich in Wärme umsetzt.)

Für Trockenanlagen muß die Erwärmung von Fall zu Fall festgesetzt werden, z. B.:

120 bis 150° (200°) für Eisengießereien,

600 bis 700° für Stahlgießereien,

1000° und mehr für Holz,

30 bis 70° für Stärke,

30 bis 50° für Ziegeleien, Salinen usw.

Schmieden bedürfen keiner Heizung, Gießereien nur während des Formens. Da die Former viel auf dem Boden hocken müssen, so empfiehlt es sich, Heizkörper dicht über diesem anzuordnen.

Ofenheizung ist hier vielfach im Gebrauch. Sie wirkt in größeren Räumen sehr ungleichmäßig, nahe dem Ofen zu warm, weiter ab zu kalt, liefert Staub und Schmutz und ist zudem feuergefährlich, daher auch für viele Betriebe verboten oder mit höherer Feuerversicherungsgebühr behaftet. Sie ist dafür billig in Anlage und Betrieb und sichert eine wirksame Lüftung. In kalten Gegenden sind Dauerbrandöfen am Platze.

*) Vrgl. 4. Abschnitt Lüftung und Heizung.

Luftheizung, in Amerika beliebt; Luft wird an Rohrbündeln, durch die Frisch- oder Abdampf der Betriebsmaschine zieht (Sturtevant,*) erwärmt und strömt an verschiedenen Stellen des Arbeitsraumes unter Vermittlung eines Bläasers aus einer Rohrleitung aus.

Dampfheizung hat in den letzten Jahrzehnten starke Verbreitung gefunden. Vorzüge: Ausschluss der Feuergefahr, Vermeidung von Staubbildung, schnelle Heizung der Räume, einfache Bedienung und geringe Unterhaltung. Nachteile: Teuer in Anlage und im Betrieb (falls nicht Abdampf benutzt wird).

Bei **Frischdampf** geht man mit ungedrosseltem Kesseldampf bis in den zu heizenden Raum, um enge Leitung und geringe Kondensationsverluste zu haben. Dasselbst durch Druckminderungsventile auf den Heizdruck herabgebracht; Dampfrohr fällt vom Kessel nach dem letzten Heizkörper hin, damit Niederschlagwasser mit dem Dampf in derselben Richtung abfließt und Heizung ohne Geräusch arbeitet.

Ausdehnung der Röhren ist Rechnung zu tragen durch Lagerung der Rippenrohre auf Rollen, Aufhängung der glatten Rohre durch Pendel und Schlingen; Einbau von Ausgleichvorrichtungen usw.

Das Kondenswasser aus allen Heizkörpern durch selbsttätige Kondensöpfe mit Umföhrung abföhren. Beim Anheizen werden die Töpfe auf Umföhrung, d. h. auf unmittelbare Abföhrung des Wassers eingestellt, danach auf selbsttätige Abföhrung und kurz vor Schluss der Heizung wieder auf Umföhrung, damit alle Leitungen sich entleeren und Frostschäden vermieden werden. Kondenswasser nach Sammelbehälter leiten, für Kesselspeisung und andere Zwecke geeignet.

Falsch ist es, gußeiserne Dachsäulen für Heizzwecke zu benutzen, wie geschehen.

Alle Zu- und Ableitungen mit Absperrvorrichtung versehen, erstere als Ringleitung ausbilden, damit besserer Druckausgleich und beim Schadhafwerden eines Teiles der Leitung eine teilweise Heizung durch die übrigen Zweige erfolgen kann. Heizkörper nicht dicht an die Wand stellen, sondern frei von Luft umspülen lassen. Daher freistehende Dampfköfen besser als Heizröhren in Kanälen mit Gitterabdeckung. Frischdampfleitungen gut einhüllen, wobei ruhende Luftschicht nützlich. Dampfgeschwindigkeit in den Leitungen 25 bis 35 m/sk.

Empfehlenswert, die Heizleitungen durch Farbanstrich leicht erkennbar zu machen (ebenso die Druckluft-, Gas- und sonstigen Leitungen).

Berechnung der Heizfläche entweder nach der Raumtheorie oder besser nach der Durchgangstheorie. Nach letzterer werden zunächst die stündlichen Wärmeverluste der Umfassungswände berechnet. Hierbei genügt aber nicht Einsetzen der Wandfläche nur ihrer Größe nach, sondern es ist auch die Raumhöhe zu berücksichtigen. Man rechne für jedes über 3 m Höhe hinausgehende Meter 5 vH des Temperaturunterschiedes t (außen und innen) letzterem hinzu. Dieser Zuschlag ist z. B. bei 8 m hohen Seitenwänden

$$(8 - 3) 0,05 t = 0,25 t.$$

*) Näheres s. Büte und v. Borries, Nordamerikan. Eisenbahnen in techn. Beziehung, auch Z. d. V. d. I. 1892 S. 772.

Niedrigste Außentemperatur für Deutschland -20° , bei höherer und freier Lage -25° . Soll z. B. an den kältesten Tagen innen $+5^{\circ}$ sein, so ist $t = 25^{\circ}$. Hierbei würde also für 8 m. hohe Wände ein Temperaturunterschied von $25 + 0,25 \cdot 25 = 31^{\circ}$ in Rechnung zu stellen sein. Gegen diese Regel ist häufig gefehlt worden.

Zahlenwerte der einzelnen Wärmedurchgangsziffern = stündlicher WE-Verlust für 1 qm in den preussischen Ministerialvorschriften, vgl. Z. d. B. 1884 S. 257 u. 1893 S. 180.

Diesen Werten ist je nach Lage der Wandfläche zur Himmelsrichtung ein Zuschlag zu geben, z. B. = 10 vH für die nach Norden, Osten, Nordosten und Nordwesten liegenden Außenmauern, Dachflächen, Tore und Fenster. Erfolgt die Heizung nur am Tage und ist der Bau den Nord- und Ostwinden frei ausgesetzt, so ist der berechneten Gesamtsumme der stündlich verloren gehenden WE noch ein Zuschlag von rd. 30 vH zu geben.

Die für die einzelnen — nach Art und Himmelsgegend getrennten — Umfassungsflächen maßgebenden Rechnungsunterlagen stellt man übersichtlich zusammen.

Ein hierfür zweckmäßiger Tabellenkopf ist hierunter dargestellt. Hiernach ausgeführte Heizanlagen haben sich bewährt.

Berechnung der Wärmeverluste.

1	2	3	4	5	6	7	8
Erforderliche Raumtemperatur $^{\circ}\text{C}$.	Wärmedurchgangsfächen		Temperaturunterschied $^{\circ}\text{C}$.	Wärmedurchgangsziffern			Es gehen durch die betreffenden Flächen hindurch stündl. WE
	Art und Stärke (cm)	qm		Ohne Zuschlag	Zuschlag vH	Mit Zuschlag	
+ 5	nörtl. und östl. Außenwand, 51	632	38	1,1	10	1,21	29 059
„	südl. Außenwand	345	38	1,1	—	1,1	14 421
„	3nörtl. Tore, 4 cm (Eichenholz) . .	42	28	2,0	10	2,2	2 587
„	nörtl. Oberlicht, 0,6	290	40	5,3	10	5,83	67 628
„	südl. Oberlicht, 0,6 usw.	290	40	5,3	—	5,3	61 480

Anmerkung: Die Werte der Spalte 8 entstehen durch Multiplikation der Spalten 3, 4, 7.

Stündliche WE-Abgabe von 1 qm Heizfläche:

- bei schmiedeeisernen Heizkörpern und Röhren = 1000 WE,
- bei Rippenheizkörpern u. dgl. Röhren = 750 WE.

$$\text{Gesamtheizfläche } H = \frac{\Sigma \text{WE}}{1000} \text{ bzw. } \frac{\Sigma \text{WE}}{750}.$$

1 kg Heißdampf gibt ungefähr 550 WE ab, also Dampfverbrauch $= \frac{\Sigma \text{WE}}{550}$, womit Kohlenverbrauch und Kesselheizfläche festliegt.

Dient der Abdampf der Maschine zum Heizen,*) so ist es zweckmäßig, auch Frischdampfzuführung einzurichten, damit morgens vor der Arbeit schon geheizt werden kann, desgl. wenn die Maschine während der Betriebszeit stillsteht.

Ueber Heizung vrgl.

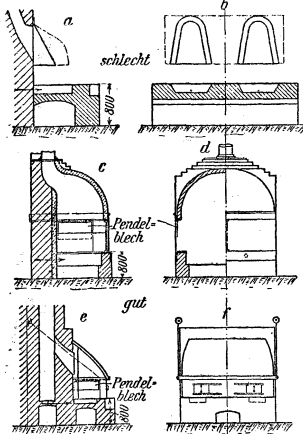
1. Bauhandbuch der Architektur, III. Bd., 4, 1908.
2. Rietschel, Lüftungs- und Heizungsanlagen.
3. Handbuch der prakt. Gewerbe-Hygiene, S. 307.

9. Lüftung. § 120 der R.-G.-O. schreibt nicht nur genügenden Luftraum vor, sondern auch genügenden Luftwechsel.

Hohe Bauten mit einer genügenden Zahl von Luftabzügen liefern gute Luftverhältnisse. Hiergegen ist wiederholt schon, besonders bei Sagedächern, verstoßen worden. Nachträglicher Einbau von Saugern in zu niedrig gehaltenen Räumen ist nur Notbehelf.

Für Oberlichter sind leicht bewegliche und doch dicht schließende Lüftungsklappen mit Gegengewicht empfehlenswert. (Bewährte Ausführung die der Hilgerswerke in Rheinbrühl und der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg.) Die in Abb. 16 dargestellte Haupthalle der neuen Benzwerke in Mannheim enthält z. B. außer zahlreichen Lüftern im Firste 528 Lüftungsklappen erster Art.

Abb. 42.



Eisen- und Gelbgießereien bedürfen besonderer Dunstabzüge in Gestalt von Firstaufbauten. Solche in ganzer oder nahezu ganzer Länge sind einzelnen Luftschächten (Abb. 33) vorzuziehen. Wo solche Aufbauten fehlen, wird oft künstliche Lüftung durch Sauger erforderlich. In Räumen mit starker Staubentwicklung muß der Staub an der Erzeugungsstelle abgesogen und durch Sauger abgeführt werden.

In Holzbearbeitungswerkstätten einschließlich Modelltschlereien mit mechanischer Späneabfuhr bewirkt diese zugleich eine gute Lüftung.

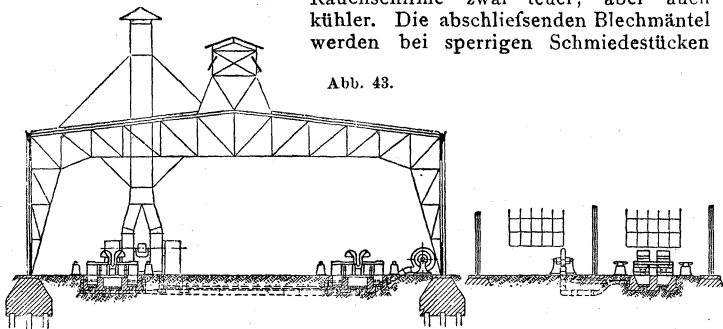
In Kesselschmieden empfiehlt es sich, für die Polterfeuer senkbare Schornsteine mit Rauchfang einzurichten.

In Schmieden läßt sich die Luft durch Zusetzen der Feuer oder durch Rauchabsaugung wesentlich verbessern. Englische Schmieden darin vorbildlich, fallen durch Sauberkeit ihrer Arbeiter auf. Abb. 42c u. d

*) Z. d. V. d. I. 1892 S. 773 u. 1120; 1896 S. 17.

zeigen ein englisches zugesetztes Schmiedefeuer, ähnliche Feuer sind in der Eisenbahnwerkstätte Tempelhof bei Berlin mit Vorteil eingebaut (Abb. 42e u. f). Gemauerte oder aus Eisenbeton hergestellte Rauchschirme zwar teuer, aber auch kühler. Die abschließenden Blechmäntel werden bei sperrigen Schmiedestücken

Abb. 43.

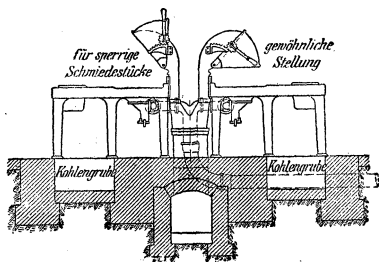


abgenommen. Vor der Arbeitsöffnung hängt ein Pendelblech, das die Augen des Arbeiters vor der strahlenden Wärme usw. schützt.

Abb. 42a u. b zeigen ältere Rauchschirme, wie sie nicht gemacht werden sollen. Mindestens sind solche nach gestrichelter Linie anzulegen.

Rauchabführung durch hohe gemauerte Esse oder mittels kräftiger Sauger und Eisenblechesse (Abb. 43, Schmiede der Lübecker Maschinenbaugesellschaft; Eisenfachwerkbau auf Pfahlrostgründung). Zweckmäßig hierbei Feuer mit verstellbarer Rauchkappe, (Abb. 44, Anordnung von Geub-Ehrenfeld) und Absperrschieber zwecks Abschaltung vom Rauchkanal.

Abb. 44.



Bei zugesetztem oder abgesaugtem Feuer kann Schmiede innen weiß gestrichen werden. (Schmiede der Eisenbahnwerkstätte Tempelhof, dsgl. der Mühlenbauanstalt Amme, Giesecke & Konegen in Braunschweig, der Norddeutschen Automobil- und Mot. A.-Ges. in Bremen usw.)

Ueber Lüftung der Spinnereien und Webereien vgl. Handbuch der prakt. Gewerbe-Hygiene.

10. Beleuchtung. Vrgl. darüber 2. Bd. Abschn. „Beleuchtung“. Dsgl. Bauhandbuch der Architektur, III. Bd. 4, II. 1908.

11. Be- und Entwässerung. Anschluß an städtisches Leitungsnetz, sonst eigenes Pumpwerk mit Hochbehälter (Wasserturm, auch Behälter auf besonderem Gestell oder um Schornstein gelagert), Druckhöhe mindestens 20 m, bei hohen Bauten mehr.

In alle Räume Zweigleitungen mit Zapfstellen führen (Waschvorrichtungen, Trinkwasser, Brandhähne). Alle Zweigleitungen müssen durch Schieber abzusperren sein, dsgl. Hauptleitung, damit jeder Strang erforderlichenfalls für sich nachgesehen und ausgebessert werden kann.

Bei scharfem Frost muß das Wasser abgesperrt und abgelassen werden können.

Erdleitungen aus gußeisernen Muffenrohren in $1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ m Tiefe. Wo Eisenbahngleise von der Leitung gekreuzt werden, ist diese rechtwinklig zur Gleisachse und zwischen 2 Schwellen hindurchzuführen, damit kein unmittelbarer Druck der Fahrzeuge übertragen wird.

Unter Umständen Wasserreinigung für Kesselspeisewasser einrichten, besonders bei stark kalk- und gipshaltigem Wasser.

Entwässerung durch ein besonderes Kanalnetz. Die mit Schlamm-sack ausgestatteten Seitenstränge führen das Abwasser einem Hauptkanal (glasierte Tonröhren, Zementröhren oder gemauert) zu; von da in das städtische Kanalnetz, in einen Wasserlauf, erforderlichenfalls noch zu vorheriger Reinigung in Klärteiche oder in Sickerteiche.

Vorschriften der Wasserpolizei usw. beachten!

12. Feuerschutz. Zwei Hauptgesichtspunkte hierbei verfolgen:

- a) Einschränkung der Brandgefahr durch möglichst feuersicheren Bau,
- b) Erschwerung der Ausbreitung sowie schnelle Unterdrückung eines Brandes.

Zu a: Bauten aus Stein und Eisen, letzteres durch glut- und feuersichere Stoffe geschützt, besonders bei Stockwerkbau, oder aus Eisenbeton, der gegen Feuereinwirkung sehr widerstandsfähig ist; ferner bei Holzbauten Verputzen des zuvor gerohrten Holzes oder Tränken des zuvor glattgehobelten Holzes.

Zu b: Durch zweckmäßige Anordnung des Grundrisses, der Treppen, Brand- und Zwischenwände, durch Vermeidung von Decken- und Wanddurchbrechungen oder, wo solche der Triebwerke wegen erforderlich sind, durch möglichsten Abschluß um diese herum, sowie durch feuersichere Türen, ferner durch Oberlichtverglasung mittels Drahtglases läßt sich ein ausgebrochenes Feuer örtlich einschränken. Die sofortige Bekämpfung eines Brandes wird ermöglicht durch ein Hydranten-netz, durch selbsttätige Feuermelder und Feuerlöschbrausen (Sprinkler), Gasspritzen, Löschdosen usw., ferner durch gute Ueberwachung (Wachterkontrolluhren) und baldige Beseitigung feuergefährlicher Abfälle und Aufbewahrung an einem sicheren Ort. Dahin gehört z. B. für Holzbearbeitungswerkstätten die mechanische Späneabfuhr. Hierbei sind die betreffenden Unfallverhütungsvorschriften genau zu beachten.

Die Brandmauern sind 30 bis 50 cm über die Dachhaut hinauszuführen. Die äußeren Brandmauern sind tunlichst ohne Oeffnung zu lassen; die bei feuergefährlichen Betrieben in etwa 40 m Abstand zu errichtenden inneren Brandmauern erhalten feuersichere und von selbst zufallende Türen. Die Tür wird für gewöhnlich durch ein Gewicht am Zufallen gehindert, in dessen Tragkette eine bei bestimmter Temperatur schmelzbare Legierung eingeschaltet ist. Bei Steigerung der Temperatur bis auf den Schmelzpunkt der letzteren reißt die Kette, und die Tür schließt sich.

Eiserne Türen sind nicht feuersicher, wohl aber solche aus Korkstein in Eisenrahmen und mit Eisenblechbelag oder aus zwei gekreuzten Bretterlagen mit Eisenblech- oder Zinnplattenbeschlag.

Durchaus zu empfehlen sind ortsfeste Eisenleitern zum Besteigen der Dächer. Rings um die Gebäude Hydranten, damit alle Stellen unter Wasser genommen werden können. Die Ueberflurhydranten auf meterhohem Standrohr (bei genügendem Druck mit zwei Auslässen für doppelte Schlauchleitung) sind den Unterfluranordnungen vorzuziehen, da sie nicht wie diese einfrieren, versanden oder durch lagernde Teile verdeckt werden können. Brandhähne und Zapfstellen auch im Inneren einschliesslich des Dachgeschosses, desgleichen Schlauchkästen mit Mundstück. Alle Schlauchverbindungen und Rohranschlüsse einheitlich durchführen. Bei Lage der Fabrik in oder nahe der Stadt ist die städtische Feuerwehrrkupplung zu wählen. Bauart Storz hierfür bewährt. Spritzenhaus mit Spritze und Zubehör nahe dem Haupteingang. Regelmässige Löschproben anstellen.

Selbsttätige Feuerlöschbrausen stehen seit Jahren in Amerika und England in ausgedehnter Anwendung und finden neuerzeitlich auch bei uns immer grössere Verbreitung in feuergefährlichen Betrieben (Spinnereien, Webereien, Holzbearbeitungswerkstätten, Mühlen usw.), nachdem die deutschen Versicherungsgesellschaften eine Ermässigung der Versicherungsgebühr um 50 vH auf Fabriken mit diesem Feuerschutz zugestanden haben. Diese Gebührenersparnis gestattet, die an sich teure Anlage in verhältnismässig wenigen Jahren abzuschreiben.

Bedingung für die 50 vH Gebührenermässigung ist aber doppelter Speiseanschluss, wovon einer unerschöpflich sein muss (Dampfpumpe aus Fluslauf saugend); auch muss der Hochbehälter mindestens 5 m über der höchsten Brause liegen.

Die Fabrikräume werden nahe der Decke mit einem längs und quer gezogenen Rohrnetz ausgestattet. Brausenabstand in Längs- und Querrichtung = 2,5 bis 3,5 m. Das ganze Rohrnetz steht unter Druck, und zwar in frostfreien Räumen unter Wasserdruck, in nicht frostfreien unter Luftdruck. Die Brausen enthalten einen Ventilverschluss aus Jett oder Glas, dessen Hebel durch eine Legierung von bestimmtem Schmelzpunkt (gewöhnlich 70° C) zusammengehalten werden (Abb. 45).

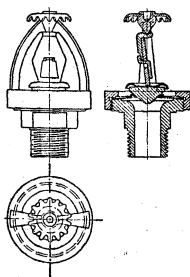


Abb. 45.

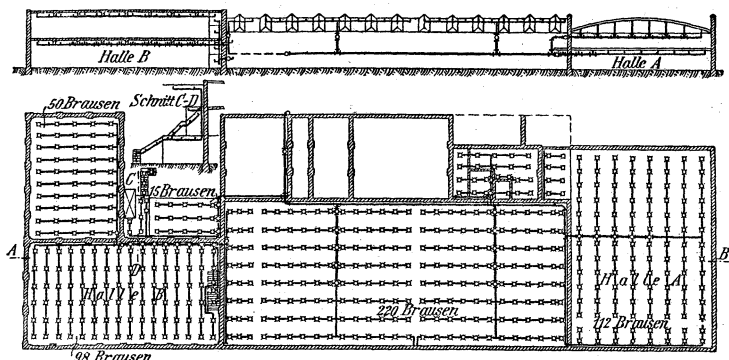
Sobald eine Brause sich öffnet, entströmt ihr das Wasser bzw. es entweicht zunächst die Druckluft, ein Druckwasserventil öffnet sich, und das ganze Netz steht nunmehr unter Wasserdruck. Die Brause lässt das Wasser aus ihrer 13 mm-Oeffnung in Regenform austreten und deckt eine Fläche von etwa 9 qm. Breitet sich das Feuer weiter aus, so öffnen sich die Nachbarbrausen. Schon die erste Brause bringt gleichzeitig eine Alarmglocke zum Tönen. Bei grösseren Anlagen ordnet man getrennte Rohrnetze mit je einer Glocke an, so dass der Feuerherd

sofort kennbar wird. Abb. 46 zeigt eine solche Brausenanlage für eine Waggonfabrik, ausgeführt von Walther u. Cie. in Dellbrück bei

Cöln. Hier sitzen Brausen auch unter den Holztreppe. Ludwigs-hafener Walzmühle ist durch 6800 Brausen geschützt, die Baumwoll-

Abb. 46.

Schrägl A-B



spinnerei Am Stadtbach in Augsburg durch 8100 Stück, die Ufer-schuppen am Freihafen in Bremen sogar durch 17000 Stück.

13. Schutzvorrichtungen. Nach § 120 a bis c der R.-G.-O. sind die Gewerbeunternehmer **verpflichtet**:

1. die Arbeitsräume, Betriebseinrichtungen, Maschinen und Gerätschaften so einzurichten und zu unterhalten, daß die Arbeiter gegen Gefahren für Leben und Gesundheit so weit geschützt sind, wie es die Natur des Betriebes gestattet;

2. für genügendes Licht, ausreichenden Luftraum und Luftwechsel, Beseitigung des bei dem Betriebe entstehenden Staubes, der dabei entwickelten Dünste und Gase, sowie der dabei entstehenden Abfälle Sorge zu tragen;

3. Schutzvorrichtungen anzuordnen, die den Arbeiter gegen gefährliche Berührungen mit Maschinen oder Maschinenteilen oder gegen andere in der Natur der Betriebstätte oder des Betriebes liegende Gefahren schützen;

4. Vorrichtungen zu treffen zum Schutze gegen die Gefahren, welche aus Fabrikbränden erwachsen können;

5. Vorschriften zu erlassen für Kessel- und Maschinenwärter.

Verstöße hiergegen ziehen u. Umst. Folgen nach sich: a) polizeilicher, b) strafrechtlicher, c) zivilrechtlicher Art.

Nach der amtlichen gewerblichen Unfallstatistik vom Jahre 1906 entfielen

- 42 vH auf unvermeidliche Betriebsgefahren,
- 7 vH auf mangelhafte Betriebseinrichtungen,
- 7 vH auf Fehlen von Schutzvorrichtungen,
- 29 vH auf Schuld der Verletzten,

- $1\frac{1}{2}$ vH auf Schuld der Betriebsleitung,
 4 vH auf Schuld beider Teile,
 8 vH auf Schuld anderer,
 $1\frac{1}{2}$ vH auf sonstige Ursachen.

Alle gewerblichen Anlagen müssen ferner den Vorschriften der Bau-, Feuer- und Gesundheitspolizei entsprechen, gegebenenfalls auch denen der Wasser- und Straßenspolizei.

§ 120 d der R.-G.-O. besagt: „Die zuständigen Polizeibehörden sind befugt, im Wege der Verfügung für einzelne Anlagen die Ausführung derjenigen Maßnahmen anzuordnen, welche zur Durchführung der in § 120 a bis c enthaltenen Grundsätze erforderlich und nach der Beschaffenheit der Anlage ausführbar erscheinen“ usw.

Die Maschinen und mechanischen Einrichtungen sind so zu bauen, daß Gefahrpunkte an ihnen möglichst von vornherein ausgeschlossen oder doch auf ein tunlichst geringes Maß beschränkt sind. Das nachträgliche Umkleiden oder Abdecken solcher Stellen ist nur ein Notbehelf.

Alle Schutzvorrichtungen, auch die von den Arbeitern in persönlichen Gebrauch zu nehmenden, wie Schutzbrillen usw., müssen so angeordnet sein, daß sie diesen nicht in ihrer Tätigkeit lästig fallen, ferner müssen sie stets in brauchbarem Zustande sein, daher öfter die nur zeitweilig benutzten prüfen. Beim Entwerfen oder bei Auswahl von Schutzvorrichtungen die Unfallverhütungsvorschriften zu Rate ziehen. Von den 66 gewerblichen Berufsgenossenschaften haben zurzeit 65 und von den 48 landwirtschaftlichen 41 solche Sondervorschriften erlassen.

So sind z. B. für Holzbearbeitungsmaschinen die mit guten Abbildungen ausgestatteten Unfallverhütungsvorschriften der norddeutschen Holz-Berufsgenossenschaft (Berlin) sehr empfehlenswert. — Auch die Jahresberichte der Gewerbevereine geben schätzbare Fingerzeige. Vgl. auch „Sammlung von Vorrichtungen und Apparaten zur Verhütung von Fabrikunfällen“, Mühlhausen. II. Aufl. 1895. Dsgl. Albrecht, Praktische Gewerbehygiene.

Aus der großen Schar der in Benutzung stehenden mannigfachen Schutzvorrichtungen seien einige hier angeführt.

a) Bei den **Gleisanlagen** auf Fabrikhöfen halte man darauf, daß die neben Gebäuden herlaufenden Stränge mindestens 2,1 m mit ihrer Mitte von jenen entfernt bleiben, damit ein zwischen Wagen und Wand geratener Mensch keine Gefahr läuft (Abb. 47).

Münden Tore oder Türen nach der Gleisseite hin, so schützt eine Holz- oder Eisenschranke (Abb. 48) gegen Ueberfahrenwerden.

b) Hauptwege in den Arbeitsräumen seien mindestens 1 m, höchstens 2 m breit, Quergänge mindestens 0,60 m. Ueber 2 m breite Wege

verleiten die Arbeiter leicht dazu, während des Betriebes Arbeitstücke oder sonstige Teile darauf zu legen. Solche geben leicht Anlaß zu Unfällen. Auch Fußwege im Freien sind nicht über 2 m breit zu halten.

c) **Galerien** und Verbindungsbrücken sind durch feste Geländer zu sichern.

d) **Wellen.** Schnellaufende blanke Wellen sind stets zu umkleiden oder verdeckt anzuordnen. Stehende Wellen sind bis 1,8 m über Fuß-

Abb. 47.

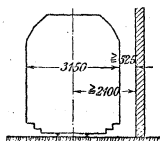
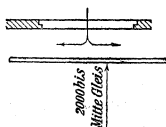


Abb. 48.



boden gleichfalls zu umhüllen. Vorstehende Nasenkeile, Schraubenmuttern und -köpfe sind bei allen Triebwerksteilen durch glatte Einkapselungen oder vorspringende Ränder zu verdecken. Umwicklung derartiger Teile mit Lappen usw. ist zu verbieten. Die Arbeiter müssen enganliegende Jacken tragen.

e) **Drahtseile** über Verkehrstellen sind stets durch Schutznetze oder -brücken zu sichern.

f) **Zahnräder** sind an ihren Eingriffstellen besonders gefährlich, daher mindestens an diesen zu umkleiden (Abb. 49 a u. b); besser ist, die Räderpaare ganz einzuhüllen (bei wechselndem Drehsinn auch notwendig) durch Bleche, oder durch Drahtnetz auf Winkel- oder Flacheisen (Abb. 49 c). Kegelräder sind ganz einzuhüllen.

Abb. 49.

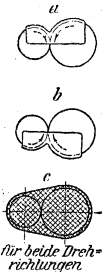


Abb. 50.

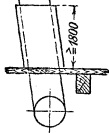
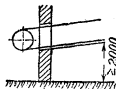


Abb. 51.



Zweckmäßig hält man die Schutzvorrichtungen in derselben Farbe, in der die Arbeitsmaschine gestrichen ist, und rändert sie mit 1 bis 2 roten Linien.

g) **Riemen**, die durch den Fußboden reichen, sind je nach ihrer Neigung zu diesem 1,5 bis 1,8 m hoch einzukleiden (Abb. 50). Solche, die aus einem Nebenraum durch die Innenwand treten, müssen bis etwa 2 m Höhe über Fußboden durch ein Brett oder Drahtnetz gesichert werden (Abb. 51). Riemen von mehr als 5 cm Breite und 10 m/sk Geschwindigkeit, die Arbeitstellen oder Wege kreuzen, müssen

in gleicher Weise bis etwa 2 m über Fußboden unschädlich gemacht werden.

Da das Auflegen bewegter Riemen von Hand gefährlich ist, so ist diese Arbeit mittels eines Riemenauflegers auszuführen.

Große Riemen sind bei Stillstand der Maschine oder Welle aufzulegen.

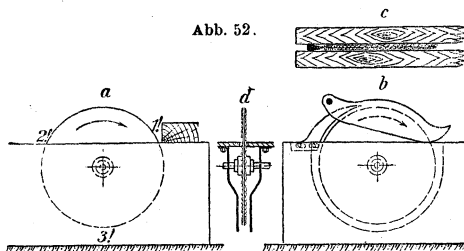
Von den Scheiben abgenommene Riemen sind auf entsprechende feste Stützen (Riementräger) zu lagern, damit sie nicht mit den sich drehenden Stellen in Berührung kommen und in Bewegung gesetzt werden.

h) **Maschinen.** Allen Arbeitsmaschinen ist ringsum genügender Platz zu geben, damit sie möglichst gefahrlos bedient und gereinigt werden können. Bei den Hobelmaschinen für Eisen ist hierauf besonders zu achten. Bei größtem Hub des Tisches muß zwischen dessen Stirnende und der etwa davor verlaufenden Wand oder davorstehenden Säule oder Maschine ein Mindestabstand von 50 cm sein, besser jedoch mehr. Wiederholt sind schwere Unglücksfälle durch zu geringes Maß herbeigeführt. Schutzstangen empfehlenswert.

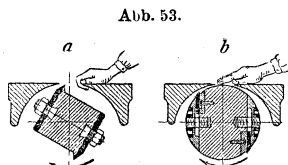
Holzbearbeitungsmaschinen sind wegen ihrer großen Arbeitsgeschwindigkeit sehr gefährlich. Unter ihnen wiederum weisen Kreissägen und Abrichtmaschinen (Fügemaschinen) alljährlich die meisten Unfälle auf.

Abb. 52a zeigt die drei Gefährpunkte der **Kreissäge**. Abb. 52b bis d veranschaulichen deren Unschädlichmachung durch Schutzhaube,

Spaltkeil und Seitenbleche. Die Haube schützt Hände und Oberkörper, der Spaltkeil (**nicht** dicker, aber auch nicht dünner als die Schränkung der Zähne!) verhindert Zurückschlagen des Holzes, und die Seitenbleche schützen die Hände der das Sägemehl während des Betriebes fortnehmenden Personen. Die Seitenbleche sind nur bei mechanischer Späneabsaugung (Abb. 55) überflüssig.



Für die **Abrichtmaschine** sind zahlreiche Schutzvorrichtungen erdonnen, die jedoch bei vierkantiger Welle (Abb. 53a) nicht zuverlässig wirken. Die beste Schutzvorrichtung ist hier die runde Welle von Carstens-Nürnberg (Abb. 53b). Bei dieser ist höchstens leichte Verletzung der Fingerspitzen möglich, bei jener aber Abschlagen der Finger und selbst Abreißen einer Hand. Die letztere schwere Unfallgefahr liegt allemal vor, wenn die Maschine zum Kehlen benutzt wird, da hierbei die Messerspalte groß gehalten werden muß. Das Kehlen sollte daher niemals auf der Abricht-, sondern auf der Fräs- oder Kehlmaschine erfolgen.



Für Fräsmaschinen empfiehlt sich der Schutzring von Carstens (D. R.-P. 142 431 u. 143 129).

i) **Aufzüge** erfordern besondere Schutzvorrichtungen. Vrgl. darüber preuß. Ministerial-Vorschriften von 1901. Ueber zwangsläufige Türverschlüsse für Fahrschächte vrgl. Ernst in Z. d. V. d. I. 1888, S. 155 u. f., sowie Z. d. V. d. I. 1900, S. 1285.

k) **Ausrückvorrichtungen** an Kraft- und Arbeitsmaschinen sowie an Wellenleitungen sind einzubauen und erstere so einzurichten, daß sie von verschiedenen Stellen des Arbeitsraumes (Dreherei) aus in Tätigkeit gesetzt werden können. Ihre ständige Wirksamkeit ist häufig zu prüfen.

l) **Entstaubungsanlagen.** Staub ein besonders gefährlicher Feind der Gesundheit. Form und Art der Staubteilchen bedingen den Grad der Gefährlichkeit. Die Schleimhäute der Atmungsorgane werden stark gereizt durch Staub der Getreidespeicher, Metallschleifereien, Mehl- und Reismühlen, Holzbearbeitungswerkstätten, Rauhereien usw. Staubbildung in Getreidemühlen, Brikettfabriken usw. gibt Anlaß zu gefährlichen Explosionen, daher den Staub an seiner Entstehungsstelle absaugen und nach einem ungefährlichen Orte führen.

Abb. 54 zeigt die Staubabsaugung bei Schleifmaschinen. Jede Schmirkelscheibe ist von einer Haube umgeben, die an das Haupt-

rohr des Saugers angeschlossen ist. Seitlicher Riemenantrieb oder von unten (Kellergeschoß) ist hierbei gefahrloser und gestattet völlige Bewegungsfreiheit gegenüber dem von oben.

Abb. 54.

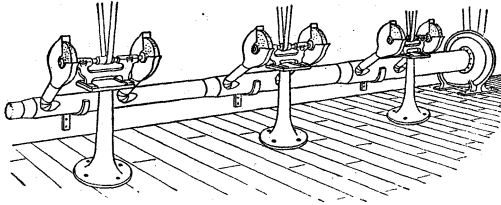
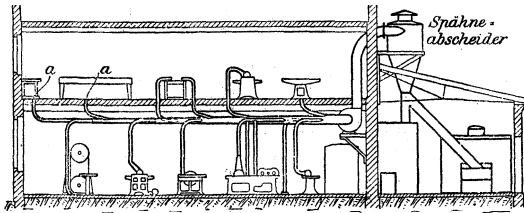


Abb. 55 zeigt die Entstaubung und mechanische Späneabsaugung einer Holzbearbeitungswerkstätte (Ausführung von Sichtig-Karlsruhe). Die Gestalt der Auffanghauben an den verschiedenen Maschinen ist

Abb. 55.



der Wirkungsweise der Hobelmesser, Fräsen usw. anzupassen. Hierbei empfiehlt es sich auch, einige Saugröhren an verschiedene, für gewöhnlich durch Deckel verschlossene Fußbodenöffnungen (Kehrlöcher *a, a* in Abb. 55) anzuschließen, um durch sie die zusammengefügten Späne abzuführen. Alle Seitenröhren müssen unter spitzem Winkel an das Hauptrohr anschließen, da sonst leicht Verstopfungen eintreten, auch der Energiebedarf des Saugers größer wird. Das Hauptrohr endet an einer aus Eisenblech gefertigten Staubkammer, Zykclone genannt, (Abb. 55).

Die Späne treten mit der Staubluft in tangentialer Richtung in den oberen zylindrischen Teil dieser Kammer ein. Sie werden mit den schwereren Staubteilen an die Außenwandung gedrängt und gleiten in den unteren kegelförmigen Raum hinein, während die mitgerissene Luft sich davon trennt und durch eine Deckenöffnung ins Freie entweicht. Durch den unten angebrachten Rohrstutzen gelangen Späne und Staub in eine Spänesammelkammer oder in Säcke, die an diesen gehängt werden oder endlich mittels eines besonderen Rohres in den Füllrumpf der Kesselfeuerung.

Die mechanische Späneabfuhr verbessert aber nicht nur die gesundheitlichen Verhältnisse der Arbeitsräume, sondern mindert auch

Abb. 56.

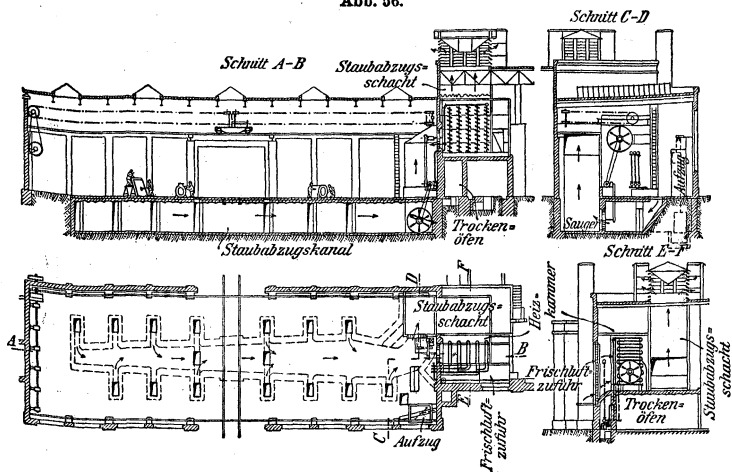
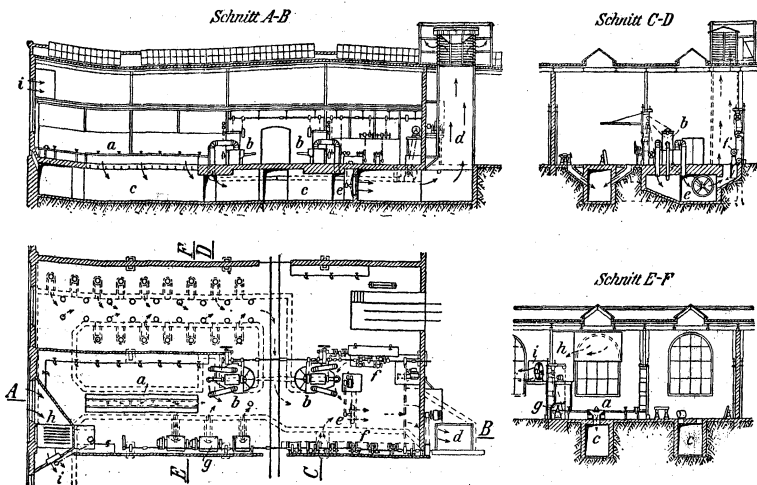


Abb. 57.



Zeichenerklärung:

a = Putztisch
b = Sandgebläse
c = Sammelkanal

d = Staubkammer
e = Sauger
f = Schleifmaschine

g = Putztrommel
h = Heizkammer
i = Bläser für Frischluft.

erheblich die Feuersgefahr. Unter Umständen wird behördlicherseits von ihrer Anlage die Genehmigung zum Fabrikbau abhängig gemacht (§ 16 d. R.-G.-O.).

Mechanische Staubbeseitigung hat sich auch in **Gufsputzereien** sehr bewährt. Die Abb. 56 (Grofsputzerei) u. 57 (Kleinputzerei) zeigen zwei mustergültige Anlagen der Maschinenfabrik von Gebr. Sulzer in Winterthur.

Im Fußboden beider Putzereien befinden sich zahlreiche, durch Eisenroste abgedeckte, teils runde, teils rechteckige Oeffnungen, durch welche die Staubluft kräftig nach einem Sammelkanal abgesaugt wird. Ebenso sind die Sandstrahlgebläse an letzteren angeschlossen, desgleichen die Putzmaschinen und ein mit durchbrochener Platte versehener Putztisch. Der Sauger wirft die Luft in eine Staubkammer, aus der sie oberhalb des Daches in die Außenluft tritt. Ein Aufzug in der Grofsputzerei dient zur Abfuhr des durch die Roste gefallenen Sandes. Ein Lüfter führt frische Luft ein, die in der kalten Zeit zuvor an Dampfrohren erwärmt wird, vgl. die Abbildungen.

In beiden Putzereien ist während des Betriebes nichts von Staubbelästigung zu verspüren; im Gegenteil, die Luft darin ist rein und frisch und sticht ungemein vorteilhaft gegen die sehr vieler anderer Putzereien ab. Beide Anlagen dürfen vorbildlich genannt werden.

Ähnliche Absaugevorrichtungen, wenn auch kleinerer Art, finden sich in der Eisengießerei von Oerlikon, in Dessau (Bamag), in der Eisengießerei der Hannov. Maschinenbau-Akt.-Ges. in Hannover-Linden, in der neuen Gießerei von R. Wolf in Salbke usw. An letzterem Ort wird die Luft vor ihrem Austritt ins Freie durch ein Staubfilter gereinigt.

Derartige Schlauchfilter in Holz- oder Eisenblechgehäuse mit selbsttätiger Abklopfvorrichtung und Saugerbetrieb haben sich auch in vielen anderen Fabriken (Zementfabriken, Getreide- und Reismühlen, Mälzereien, Hanf- und Jutespinnereien usw.) zwecks Abscheidung des Staubes aus der Saugluft bewährt. Unter Umständen ist auch noch Niederschlagen des letzten Staübrestes durch Wasserstrahlen (Streudüsen) geboten, z. B. in den Rohmühlen der Zementfabriken, wenn jede Staubbelästigung bebauter Nachbargrundstücke vermieden werden muß.

V. WOHLFAHRTSEINRICHTUNGEN.

a) Waschvorrichtungen, Umkleide- und Baderäume.

Einzelwaschbecken im allgemeinen besser als Tröge. Kippwaschbecken gut bewährt. Waschtröge sind mit zahlreichen Zapfstellen für warmes und kaltes Wasser auszustatten. Besondere Umkleideräume mit Waschvorrichtung (getrennt nach Geschlechtern, § 120 d. R.-G.-O.) empfehlenswert. Für die Gesundheit stark gefährdenden Betriebe (Bleifarbenfabriken usw.) bestehen besondere gesetzliche Bestimmungen. Vgl. darüber Evert, *Handbuch des gewerblichen Arbeiterschutzes*. Tunlichst jedem Arbeiter einen verschließbaren Kleiderschrank zuweisen; solche aus z. T. durchlochtem Eisenblech bewährt.

Abgabe der **Bäder** kostenlos oder gegen nur geringen Geldbetrag. Zweckmäßig, mehr Brausebäder als Wannenbäder einzurichten und bei ersteren getrennte Bade- und Ankleidezellen, damit häufigere Badbenutzung möglich.

b) **Speisesaal.** § 120d der R.-G.-O. besagt: Die zuständigen Polizeibehörden*) können anordnen, daß den Arbeitern zur Einnahme von Mahlzeiten außerhalb der Arbeitsräume angemessene, in der kalten Jahreszeit geheizte Räume unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden.

Der Speisesaal ist tunlichst nach dem Fabrikhofe abzugrenzen, damit alle Arbeiter über Mittag die Fabrik verlassen und die das Essen bringenden Personen letztere nicht zu betreten brauchen. Ausrüstung mit Speisenwärmofen und unter Umständen mit Wirtschaft (Kantine).

Manche Fabriken sind mit Tee- oder Kaffeeküche oder auch Selterswassererzeugung ausgestattet und haben gute Erfolge damit erzielt. Abgabe dieser Getränke höchstens zum Selbstkostenpreis.

c) **Aborte.** Auf etwa 20 Männer oder 15 Frauen ein Abortsitz; für erstere außerdem noch Stehplätze in angemessener Zahl und Verteilung. Am besten Wasserspülung, sonst Torfstreu.***) Ausgiebige Lüftung und Beleuchtung. Die Sitze sind durch hohe und dichte Zwischenwände voneinander zu trennen, zweckmäßig auch gegen den Zugang durch Türen abzuschließen. Sitzbreite ≥ 75 cm.

Alle Bedürfnisanstalten so legen, daß unnötig weite Wege im Freien vermieden werden (Erkältungen); am besten in An- oder Vorbauten. Letztere sind durch Gänge (beide getrennt nach Geschlechtern) mit den Arbeitsräumen zu verbinden. Beste Lage auf der Nord- oder Ostseite, Süd- und Westseite tunlichst wegen Sonne vermeiden. Bei Süd- oder freier Lage empfehlenswert eine Umpflanzung mit Bäumen und Sträuchern.

*) In Preußen die Ortspolizeibehörden (Polizeipräsident, Bürgermeister, Amtsvorsteher).

**) Abb. im Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnw. 1893 S. 167. Vrgl. auch Bad. Gewerbezeitung 1897 S. 337, dsgl. Albrecht a. a. O.

ACHTER ABSCHNITT.

BAUMASCHINEN.

Baggermaschinen.

Nafsbagger.*)

A. Aushub.

1. Greifbagger. Drehkran mit Greifer vorn oder hinten auf einem Schiff, so dafs im Halbkreis gebaggert werden kann. Betrieb meist mit Dampf (20 bis 30 PS). Entleerung in den Schiffsraum oder besser in Schuten. Greifer 0,1 bis 1 cbm Inhalt (selten mehr), Gefäfs halbzylindrisch mit 2 Schaufeln oder halbkugelig mit 3 oder 4 Schaufeln. Letztere graben besser wegen der spitzen Schaufeln, sind aber komplizierter. System: Zweikettengreifer (vgl. II. Bd. S. 409), da diese sich beim Festbeißen unter Wasser wieder öffnen lassen. Leistung 25 bis 50 Kranspiele stündlich, Füllung i. M. 80 vH. Vorteile: Grofse Einfachheit und Betriebssicherheit, geringe Platzbeanspruchung, daher besonders geeignet zum Austiefen an Ufermauern, von engen Baugruben usw., auch zum Heben gröfserer Steine geeignet. Nachteile: Geringe Leistung, kleine Grabwirkung in festem Boden, kein gleichmäfsiges Austiefen. Für gröfsere Arbeiten zu teuer. Besatzung 1 Kranführer, 1 Heizer, 2 bis 4 Matrosen. Betriebskosten 25 bis 50 $\frac{\text{g}}{\text{cbm}}$.

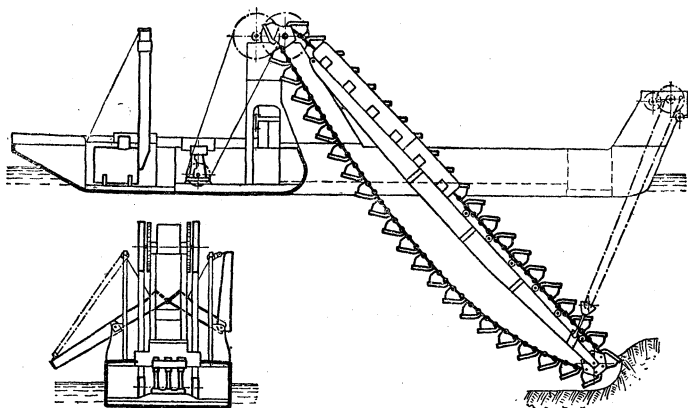
2. Löffelbagger. In Deutschland als Nafsbagger sehr selten (vgl. Trockenbagger S. 519).

3. Eimerkettenbagger. Eimerleiter mit Eimerkette in einem Schlitz, gröfste Neigung bei Flußbaggern 45° , bei Seebaggern 30° wegen sanften Ausschwingens bei Wellengang. Seebagger erhalten eigene Propeller und einen geschlossenen Schlitz wegen geringeren Fahrwiderstandes und gröfserer Steifigkeit; Flußbagger haben keine Propeller, der Schlitz ist vorn offen und die Leiter so weit vorgeschoben, dafs ein „Freibaggern“ möglich ist. Kettengeschwindigkeit 0,3 m/sk. Eimerinhalt bis 800 l, vereinzelt bis 1 cbm, Anzahl der Schüttungen 12 bis 20 minutlich, Baggerleistung bis 500, vereinzelt bis 800 cbm/st. Ausschüttung

*) H. d. I. W. IV. Teil, Baumaschinen, 1. Bd., 3. Aufl. — Z. d. V. d. I. 1909 S. 969, 1910 S. 657 u. f.

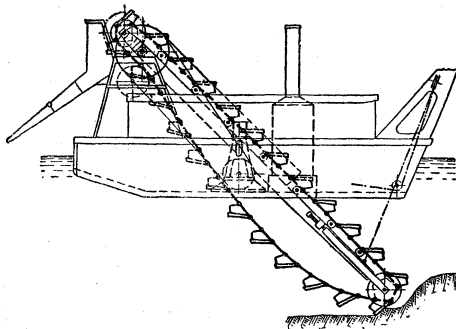
in der Regel in Prahme, nach beiden Seiten abwechselnd (Abb. 1). (Seitenschütter.) Hinterschütter (Abb. 2) schütten nach hinten in eine querliegende Schute; sie brauchen weniger Platz (Hafenbagger) und

Abb. 1.



haben eine kleinere Konstruktionshöhe (Passieren von Brücken), aber schwieriges Anfahren und Verholen der Schuten, nur für kleine Leistungen gebaut. Beim Arbeiten (stets gegen den Strom) schwingt

Abb. 2.



der Bagger um einen Vorderanker an einem 200 bis 500 m langen Tau, indem er durch Seitenankerketten (je 2 Anker auf jeder Seite) ständig bewegt wird: „Scheren“-Antrieb für sehr kleine Bagger durch Hand oder Oelmotoren, sonst durch Dampf.

Antrieb der Hilfsmaschinen (Ankerwinden, Leiterwinden, Schüttrinnenwinden, Spills) durch Transmissionen von der

Hauptmaschine (Steuerung durch Drahtzüge von einer Stelle möglich) oder Gruppen- oder Einzeldampfantrieb. Neuerdings mehrfach elektrischer Einzelantrieb.

Kraftbedarf 0,4 bis 0,6 PS für 1 cbm Baggerboden. Für Propellerantrieb betragen die Maschinenleistungen fast das Doppelte, als zum

Baggern erforderlich ist. Betriebskosten hängen sehr von der Ausnutzung des Baggers ab, i. M. 15 ¢/cbm einschl. Zinsen und Abschreibungen. Besatzung: 1 Maschinist, 1 Heizer, 1 Baggermeister, 1 bis 4 Matrosen.

Vorteile: Für alle Bodenarten geeignet, Herstellung genauer Profile. Nachteile: Schwerfälligkeit, häufige Reparaturen an der Eimerkette und dadurch und durch das Ankerverlegen häufige Störungen.

Angaben über verschiedene Eimerbagger.

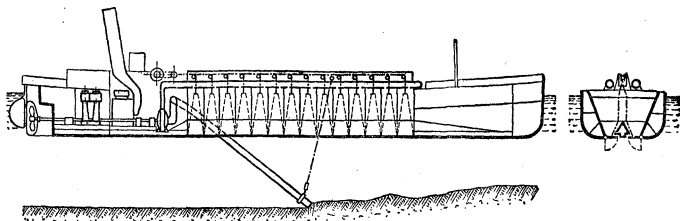
Schiffskörper Länge × Breite × Tiefgang m	Größte Arbeits- tiefe m	Eimer		Mittl. Lei- stung cbm/st	Ma- schine PS _i
		Inhalt l	Schüttungen minütlich		
10,4 × 4,5 × 0,44	2,3	32	20	20	16
19,8 × 5,0 × 1,0	4,5	114	12,3	50	35
18,7 × 5,0 × 1,3	5,0	130	20	100	70
30,0 × 8,0 × 1,75	10	323	10	150	140
43,1 × 9,02 × 2,57	11	530	13	250	160
49,1 × 9,1 × 2,15	13	650	10,25	350	250

4. **Saugbagger** saugen Boden und Wasser (Mischung sehr verschieden, i. M. 1:5 bis 1:10) durch eine Kreiselpumpe an. Im Vergleich zu Eimerbaggern haben sie eine einfachere Bauart und geringere Beschaffungs- und Unterhaltungskosten, sind aber nur für lose liegende Bodenarten (Sand, Schlamm, Schlick) geeignet, die von dem Saugwasserstrom mitgenommen werden, sonst Lösen des Bodens durch Druckwasser (in festerem Sand geeignet) oder durch mechanische Rühr- oder Schneidvorrichtungen (im Betriebe teuer). Ferner lassen sich keine genauen Profile herstellen, die Leistung in fester Masse wird durch die Bodenart stark beeinflusst. Leistung nicht unter 100 cbm/st, sonst zu enge Querschnitte. Pumpe (Sonderkonstruktionen) aus Gußeisen, Stahlguss oder Schmiedeisen, letztere widerstandsfähiger gegen Steine. Innenflächen durch austauschbare Verschleißplatten schützen. Kreiselrad aus geschmiedetem Stahl, 3 oder 4 Arme mit austauschbaren Flügelplatten, Druckhöhe bis 25 m.

Seebagger sind als selbstladende, Schacht- oder Hopperbagger sehr verbreitet, da die Bodenart meist günstig ist (Abb. 3). Leistung bisher bis 6000, meist 1000 bis 2000 cbm/st, Laderaum in der Mitte, vorn Aufenthalts- und Vorratsräume, hinten Maschinenanlage. Saugrohr im Schlitz (meist hinten) oder an einer Seite aufsen. Ersteres ergibt eine geschützte Lage und ermöglicht eine Absteifung gegen Seitendrucke; der Schlitz schwächt aber den Schiffsverband und bewirkt eine Teilung der Schiffsräume. Saugrohr aufsenbords wird mit Aufzugsvorrichtungen versehen, durch die es ganz auf Deck gebracht werden kann. Verankerung in der Regel durch zwei Anker, einen gerade und einen schräg voraus, so daß das Schiff gegen Wind und Strom festliegt. Füllung des Laderaums durch zwei Druckrohre, die nach unten durch mehrere

verschleißbare Öffnungen ausgießen. Laderaum möglichst groß (etwa für 1 st Baggerarbeit ausreichend), damit sich der Boden sicher ausscheiden kann, Abfließen des Wassers über Bord. Entleerung durch Bodenklappen oder Zylinderventile; Anker werden vor der Fahrt aufgenommen oder die Ketten mit Bojen abgeworfen. Abmessungen

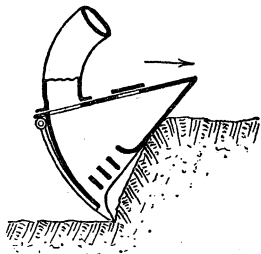
Abb. 3.



eines Baggers von 1000 cbm/st Leistung ungefähr: Länge 65 m, Breite 10 m, Tiefgang 5 m, Laderaum 1000 cbm, Maschinenstärke 600 PS für den Propellerantrieb, zum Baggern etwa 300 bis 400 PS. Betriebskosten bei geringen Entfernungen von der Löschstelle 12 bis 15 $\frac{\text{¢}}{\text{cbm}}$ einschl. Verklappen.

Frühlings Saugbagger haben einen breiten, eimerartigen Saugkopf mit Schneide (Abb. 4), dem das Mischwasser durch Klappen in regel-

Abb. 4.



barer Menge zugeführt wird. Erreicht wird ein Abgraben und höherer Sättigungsgrad, bei Schlack (hierfür besonders geeignet) bis 60 vH. Gebaut für Leistungen bis 3600 cbm/st.

Flußbagger erhalten bei hartem Boden vor dem Saugkopf Schneidvorrichtungen, die auf einem Träger gelagert, in drehender Bewegung von einer selbständigen Maschine angetrieben werden. Das Baggergut wird unmittelbar durch schwimmende Druckleitungen fortgedrückt, seltener in Schuten gepumpt. Saugrohr im Schlitz oder vor Kopf an überhängenden Auslegern. Arbeitsweise wie Eimerbagger

durch Scheren. Genaue Profile sind nicht herzustellen, sonst ist aber die Arbeit bei großen Leistungen und geeignetem Boden billig. Transportweite < 800 m, Schwimmleitung wird aus Rohrstücken von 6 bis 12 m Länge mit Schwimmkörpern zusammengesetzt, Verbindung durch gepanzerte Lederschläuche oder Kugelgelenke, Mischungsverhältnis 1:5 bis 1:10, Geschwindigkeit 2,5 bis 3 m/sk, Leitungswiderstand 1,5 bis 2,5 m Wassersäule für 100 m Rohrlänge.

Vereinigte Eimer- und Saugbagger gestatten eine vielseitige Verwendung und arbeiten entweder mit der Eimerleiter oder dem Saugrohr. Ausgießen in Schuten, in eigene Laderäume oder in eine

Schwimmleitung. Durch den Einbau von Pumpe und Rohrleitungen wird das Schiff nicht wesentlich größer, daher für Bagger mit wechselnden Arbeitsverhältnissen vorteilhaft.

B. Beseitigung des Baggerbodens

erfolgt bei geringen Entfernungen unmittelbar durch den Bagger, bei größeren Transportweiten durch Prahme und Sekundärbagger.

1. **Lange Schüttrinnen** und **Spülrohre**, nur für Eimerbagger. Meist werden wegen ihrer größeren Steifigkeit Spülrohre verwendet, die an Gerüsten auf dem Bagger mit Drahtseilen aufgehängt sind und unmittelbar an Land ausschütten. Der Wasserzusatz (besondere Pumpe) ist abhängig von der Bodenart und der Neigung, letztere $> 1:30$. Als Gegengewichte der Rohrleitung werden belastete Schiffe mit dem Bagger verbunden.

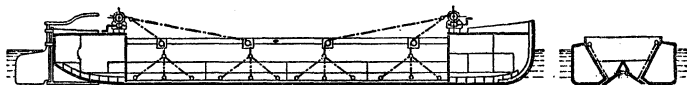
2. **Plattenketten** und **Gurtförderer**, wie vor aufgehängt, aber für Steigungen bis $1:3$ anwendbar. Plattenketten (für steinigen Boden) sind schwer und haben eine geringe Fördergeschwindigkeit, bis $0,4 \text{ m/sk}$, daher selten. Gurtförderer sind Gummibänder mit muldenförmig geführtem Oberlauf (s. II. Bd. S. 539, Abb. 286), Abwurf an der Endscheibe, bei klebrigem Boden Streichbleche. Antrieb vom Bagger (3 bis 10 PS), Fördergeschwindigkeit bis $2,8 \text{ m/sk}$, Bandbreite bis 900 mm , Leistung bis 350 cbm/st .

3. **Schachtbagger** (Hopperbagger) werden fast nur als Saugbagger gebaut, da Eimerbagger zu schwerfällig sind. Ausschütten ins Wasser durch Bodenklappen (Abb. 3); es können aber auch Einrichtungen vorgesehen werden, daß das Baggergut von der Pumpe wieder angesogen und durch eine Leitung an Land gedrückt wird (für Aufhöhungen).

4. **Schwemmvorrichtungen** dienen zum Fortdrücken des Baggerguts durch eine Pumpe und Schwimmleitung; bei Saugbaggern direkt, bei Eimerbaggern durch eine besonders eingebaute Pumpe, die aus einem Saugbrunnen, in welchen die Eimer ausschütten, das Baggergut ansaugt. Transportweite bis 800 m .

5. **Prahme** (Schuten). a) Festbodige Prahme, die am Ufer gelöscht werden, werden stets geschleppt wegen der langen Liegezeit an der Löschstelle; Ladung bis 400 cbm . b) Klappprahme mit Seitenklappen (geringer Tiefgang) nur für kleinen Fassungsraum, sonst stets Boden-

Abb. 5.



klappen (Abb. 5), mit seitlichen Luftkästen, Neigung der Wände $\geq 60^\circ$; größere Prahme über 100 cbm Laderaum werden zweckmäßig mit Propellern (Dampfprahme) ausgerüstet. Fahrgeschwindigkeit 10 bis 15 km/st . Abmessungen eines Dampfprahms von $100 (200) \text{ cbm}$ Laderaum: Länge $38 (45) \text{ m}$, Breite $6,8 (8,5) \text{ m}$, Tiefgang $1,5 (2,9) \text{ m}$, Fahrgeschwindigkeit 13 km/st , Schrauben 1 (besser 2), Maschine $120 (210) \text{ PS}$.

6. **Krane** mit Greifern, nur in Sonderfällen, sonst zu teuer.

7. **Elevatoren**, mit Eimerkette, werden meist schwimmend gebaut.

Abb. 6.

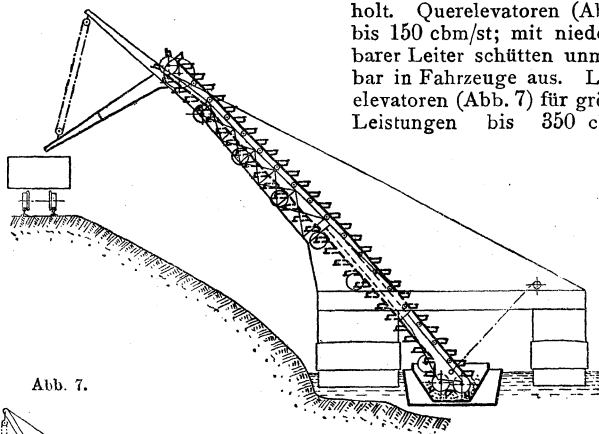
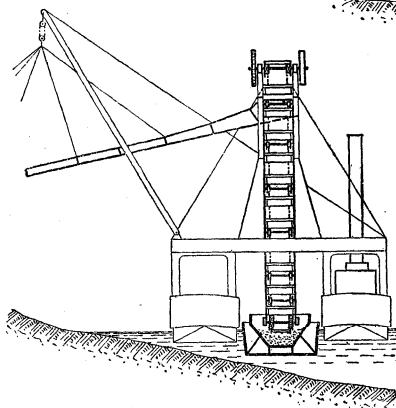


Abb. 7.

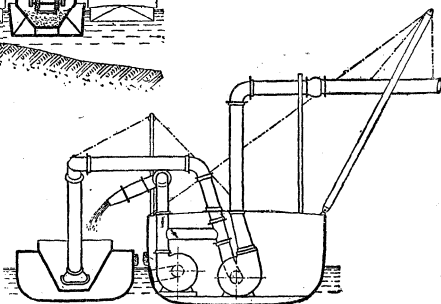


Schute mit trapezförmigem Laderaum wird maschinell verholt. Querelevatoren (Abb. 6) bis 150 cbm/st; mit niederlegbarer Leiter schütten unmittelbar in Fahrzeuge aus. Längselevatoren (Abb. 7) für größere Leistungen bis 350 cbm/st

werfen in ein Spülrohr oder Gurtförderer ab. Ketten-geschwindigkeit bis 0,7 m/sk. Kraftbedarf 0,4 PS für 1 cbm/st.

8. **Schutensauger** (Abb. 8), für Leistungen über 100 cbm/st, saugen das in der Schute mit Wasser gemischte

Abb. 8.



Baggergut an und drücken es durch eine Leitung in (eingedeichte) Schwembassins, wo der Boden sich ausscheidet und das Wasser abfließt. Mischung i. M. 1:10.

Transportweite nicht über 800 m, darüber 2 Pumpen hintereinander erforderlich. Leistung ist durch die Bodenart und die Transportweite sehr veränderlich; wenig geeignet ist fester Ton, am besten Sand mit Schlick. Rohrleitung ist zur Vermeidung von Verstopfungen mit gleichmäßigem Gefälle zu verlegen. Rohrweite 350 bis 800 mm, Rohre genietet oder geschweißt mit Flanschen, Länge 6 bis 8 m. Kraftbedarf bei mittleren Verhältnissen 3 bis 4 PS-st/cbm.

Trockenbagger.

1. Löffelbagger graben an einer Wand (Tiefbagger) im Halbkreis, große Grabwirkung, auch für sehr unreinen Boden geeignet. Löffelinhalt 0,5 bis 4,8 cbm, Gewicht 35 bis 95 t, Schlitzbreite 12 bis 19,3 m, Leistung 2 bis 3 Hübe minutlich, i. M. 80 Füllungen oder 40 bis 380 cbm/st. Maschine bis 300 PS. Im übrigen vgl. II. Bd. S. 555.

2. Eimerkettenbagger mit stetiger Förderung haben geringere Grabkraft und sind gegen unreinen Boden empfindlicher, fahren während der Arbeit und schütten in den geschlossen stehenden Förderwagenzug aus oder (selten anwendbar) werden mit Gurtförderern ausgerüstet. Leistung normal 20 bis 240 cbm/st. Maschine 12 bis 90 PS. Hochbagger mit kurzer Leiter oder langer Tiefbaggerkette graben an einer hohen vorhandenen Böschung, können sich nicht freibaggern. Tiefbagger mit langer Leiter graben unter Terrain. Ueber die Bauarten vgl. II. Bd. S. 555.

Rammen und zugehörige Hilfsmaschinen.*)

1. Rammen.

1. Leistung, Bärgewicht, Fallhöhe, Schlagzahl. Die Energie eines Schlages (Bärgewicht \times Fallhöhe) liefert Nutzarbeit: Eindringen des Pfahles, und verlorene Arbeit: Stofsverlust, Kompressionsarbeit und kleinere Verluste (Schall, Bodenschwingungen usw.). Um die Verluste klein zu halten, muß der Bär schwer sein, zweckmäßig \geq Pfahlgewicht. Die Fallhöhe wird durch die Festigkeit des Pfahles begrenzt, für Betonpfähle bis 1,5 m, für Holzpfähle bis 4 m, und sonst so gewählt, daß die Gesamtleistung der Ramme ein Maximum wird. Die Schlagzahl hängt von dem Bärssystem ab. Schnell schlagende Rammen sind teuer und schwer (großer Dampfkessel) und daher nur für umfangreiche Arbeiten wirtschaftlich; anderseits wird durch schnelle Schläge in manchen Bodenarten der Eindringungswiderstand kleiner, wenn der Boden keine Zeit findet, sich nach jedem Schlage wieder fest um den Pfahl zu lagern.

2. Bärssysteme.

Zugrammen. Für 100 kg Bärgewicht 6 bis 8 Arbeiter. Stündlich 15 „Hitzen“ zu 25 bis 30 Schlägen. Ramme ist leicht und billig, aber im Betrieb teuer, daher nur für ganz untergeordnete Arbeiten angewendet.

Indirekt betriebene Rammen mit Aufzugswinde für Bär und Pfahl. Handbetrieb selten, meist Dampf. Elektromotoren sind namentlich für

*) H. d. I. W. IV. Teil, Baumaschinen, 1. Bd., 3. Aufl.

Kettenrammen vorteilhaft, Oelmotoren wegen der stark wechselnden Belastung weniger zweckmässig. Dampfdruck 7 bis 10 at, Dampfmaschine in Einzylinder- oder Zwillingsbauart, Windtrommel durch Klauen- oder besser Reibkupplung ausrückbar.

Bären mit Auslösung und Nachlaufkatze (Abb. 9) sind leicht und billig und für kleinere Arbeiten sehr geeignet. **Bären ohne Auslösung** haben grosse Leistungen, aber schwere Kessel, daher selten. **Kettenrammen** (Abb. 10) (Gelenkkette) sehr verbreitet, stehen in der Mitte. Sie haben die gleiche Maschinenleistung, aber um 50 vH grössere Ramm-

Abb. 9.

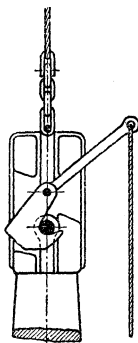


Abb. 11.

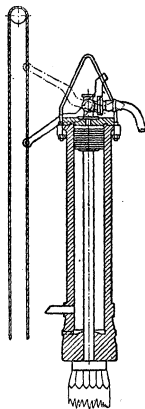


Abb. 10.

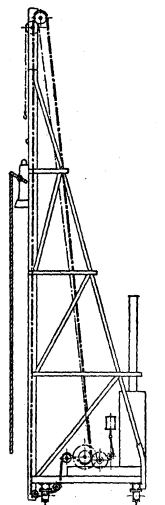
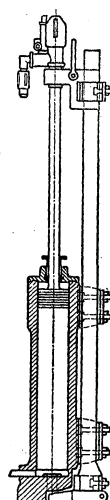


Abb. 12.



leistungen als die Bären mit Auslösung, erfordern aber grössere Reparaturen und sind für Schrägrammungen wenig und für Tieframmungen gar nicht geeignet.

Direkt wirkende Dampfrahmen (Dampfjären) werden wegen ihrer grossen Leistungen für umfangreichere Arbeiten meist angewendet, erfordern aber schwere Kessel; neuerdings Heissdampf, um an Kesselgewicht zu sparen. Da der Hub beschränkt ist, dürfen die Bären nicht zu leicht gewählt werden. In Deutschland sind 2 Systeme üblich, von Lacour und Menck & Hambrock, bei beiden wirkt der Zylinder als Bär.

System Lacour (Abb. 11), sehr einfach. Nachteile: hoher Dampfverbrauch infolge unvollkommener Steuerung (Dreiwegehahn) und Abkühlung. Dampfzuleitung durch einen mitschwingenden und wenig haltbaren Gummischlauch, Heissdampf ausgeschlossen, Aufweichen hölzerner Pfähle durch Ausfliessen heissen Kondenswassers auf den Pfahlkopf, leichtes Abspringen der Kolbenstange bei dünnen Pfählen. Diese Nachteile vermeidet das

System Menck & Hambrock (Abb. 12). Die Kolbenstange tritt oben aus dem Zylinder und wird durch ein Umführungsgestänge gegen

den Pfahl abgestützt. Dampfzuführung durch die hohle Kolbenstange und einen Spiralschlauch, Heißdampf anwendbar. Steuerung durch einen Kolbenschieber, die Umsteuerung in der höchsten Stellung kann selbsttätig eingerichtet werden. Dampfaustritt durch den unteren Zylinder Raum ins Freie, daher geringere Abkühlungsverluste.

Art der Ramme	Fallhöhe m	Schläge minütlich	Bär- gewicht t	Für 1 t Bärgewicht	
				Schlag- leistung minütlich mt	Kessel- leistung PS
1. Zugrammen	1,2 (1,7)	7,5	0,1 bis 0,4	9	—
2. Indirekt wirkende Rammen					
a) Handrammen . .	4	$1\frac{1}{3}$ bis $3\frac{3}{4}$	0,4 „ 1	1,2 bis 3	—
b) Dampfrahmen mit rücklaufendem Seil mit Auslösung und Nachlaufkatze .	4	3	0,6 „ 4	12	4
ohne Auslösung .	4	9	0,3 „ 2,5	29	10
c) Dampfrahmen mit endloser Kette . .	1,5	11 bis 13	0,6 „ 4	18	4
3. Direkt wirkende Dampf- rammen	0,8 bis 2,6	30 „ 70	0,05 „ 8	30 bis 100	7 bis 15

3. Aufbau der Rammen.

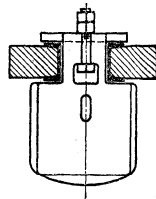
Gerüste. Dreieckförmig, für Handbetrieb aus Holz, für Maschinenbetrieb aus Eisen, fahrbar auf Schienen von Hand oder durch die Rammaschine mit ausgelegten Seilen oder Räderantrieb (für sehr große Rammen). Der Bär läuft vor doppelten Läufertruten, bestehend aus Holzbalken mit U-Eisen-Einfassung (Abb. 13), und führt sich an durchgesteckten Armen. Bei Schrägrammungen werden die Läufer nach hinten (1:3) oder vorn (1:10) geneigt, bei Tiefgrammungen werden die Läuferisen versenkt.

Reihenrammen, s. Abb. 10, sind einfach, leicht und billig, zweckmäßig für Pfahlreihen.

Drehrammen. Der Fußrahmen ist auf einem Unterwagen drehbar, notwendig für Eckpfähle, Querwände und dgl.

Betonpfahlrammen sind schwer und teuer und daher möglichst vollkommen auszurüsten. Gebaut für Bär Gewichte bis 8 t, meist Dampfbären. Universalrammen von Menck & Hambrock erhalten maschinellen Antrieb für das Fahren, Drehen, Schrägstellen der Läufer, Versenken der Läuferisen und Verschieben der Läufer beim Klemmen des Pfahles.

Abb. 13.



Rammen für Simplexpfähle erhalten schwere Aufzugsvorrichtungen, bis 80 t für das Vortreibrohr. Verschiebung auf langen Walzen durch Gleiten und Rollen in der Längs- und Querrichtung.

Kanalisationsrammen stehen auf einem Unterwagen über der Baugrube und erhalten versenkbare Laufereisen. Betrieb mit Dampfjären. Ausbildung als Drehrammen, die an allen 4 Seiten schlagen können, oder Doppelrammen, deren Jären abwechselnd schlagen (Abb. 14).

Kranrammen (Abb. 15) haben die Form von Drehkränen mit weit ausladenden Läufern und verstellbarer Ausladung. Geeignet für einzelne weit abstehende Pfähle (Anlegebrücken).

Kleindampfrahmen für ganz leichte Arbeiten mit Lacourschen Dampfjären (50 bis 400 kg) verdrängen die Handrammen. Als Läufer werden Gasrohre verwendet, die oben durch Taue verspannt werden, oder dreibeinige Gestelle. Setzen der Pfähle und Aufsetzen des Jären

Abb. 14.

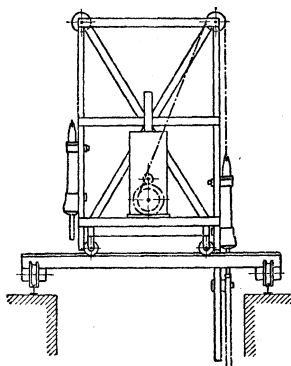
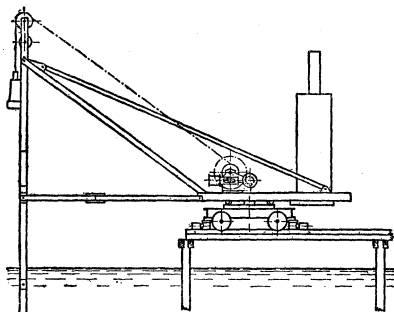


Abb. 15.



von Hand oder durch Flaschenzüge. Ein fahrbarer Dampfkessel wird unabhängig aufgestellt.

Hilfsmaschinen.

(Vrgl. III. Bd., Abschn. Grundbau, S. 226 u. f.)

1. Wasserspülung. Durch Strahlrohre (meist 2 gegenüberliegende) von 30 bis 60 mm Weite, die zur Vermeidung von Verstopfungen ständig von Hand zu bewegen sind, wird Druckwasser der Pfahlschneidspitze zugeführt, um den Bodenwiderstand zu verringern. Bei Betonpfählen kann ein Spülrohr achsial einbetoniert werden. Als Spülpumpen werden doppelwirkende Kolbenpumpen mit Lederklappen und Druckwindkessel benutzt, die meist durch Dampf betrieben werden. Es kommen in Betracht:

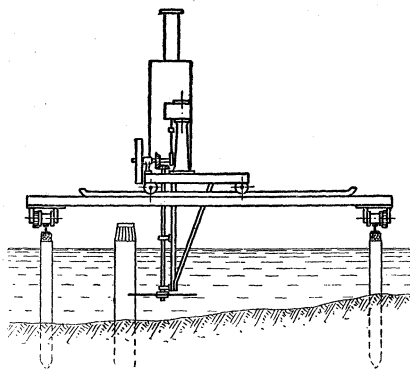
a) selbständige Dampfpumpen, die unabhängig von der Ramme aufgestellt werden und mehrere gleichzeitig bedienen können;

b) Dampfpumpen ohne eigenen Dampfkessel, die an den Kessel der Ramme angeschlossen werden, so daß im allgemeinen nur abwechselnd gespült und gerammt werden kann;

c) Transmissionspumpen, die von der Rammaschine angetrieben werden (Anschluß an die Schwungradwelle durch eine Fingerkuppelung). Auch hier muß der Kessel entsprechend größer sein, wenn während des Rammens gespült werden soll. Diese Anordnung ist die einfachste.

2. **Grundsägen** zum Abschneiden hölzerner Pfähle unter Wasser. Handsägen (Pendelsägen) nur für untergeordnete Zwecke. Meist Kreissägen mit Dampf- (oder elektrischem) Antrieb. In Betracht kommen a) selbstständige Dampfsägen nach Abb. 16 (Arbeitstiefe unter Wasser 3 bis 4 m, Kraftbedarf 4 PS, Dmr. des Sägeblattes 900 mm) oder b) Kreissägen in gleicher Anordnung, die an den Läuferruten einer Ramme befestigt und von der Rammaschine durch Riemen angetrieben werden.

Abb. 16.



Mischmaschinen für Kalk-, Kalktrafs-, Zementmörtel und Beton.

Allgemeines. Das Bindemittel soll die Zusatzstoffe innig einhüllen. Dies wird durch Maschinen besser erreicht als durch Hand, daher festere Mischungen und Ersparnisse an Bindemitteln, ferner geringere Kosten (Handmischung 1,50 \mathcal{M} /cbm, Maschinenmischung 0,50 \mathcal{M} /cbm). Das Mischen erfolgt in festen Behältern durch Rührwerke oder in rotierenden Trommeln; in beiden Fällen entweder stetig mit gleichbleibender Mischdauer oder periodisch in Chargen mit beliebig veränderlicher Mischdauer. Das letztere Verfahren ist besser, die Maschinen sind aber teurer. Gemischt wird zuerst trocken, dann nafs; das Wasser wird aus auf Menge einstellbaren Behältern entnommen. Maschinen auf Fahrgestell erhalten wegen der hohen Lage der Mischtrommel häufig einen Kastenauzug (gleichzeitig Abmeßvorrichtung), der selbsttätig ausschüttet, Fülldauer 20 sk; sonst stellt man sie so auf (Rampen), daß eine unmittelbare Füllung durch Schaufeln oder Auskippen von Gefäßen möglich ist. Antrieb bei kleinen Maschinen von Hand, sonst durch Dampf-, Oel- oder Elektromotoren, die getrennt aufgestellt oder eingebaut werden. Getriebe müssen staubsichere Lage oder Einkapselung haben.

1. **Maschinen mit festem Behälter und Rührwerk.** Kreuzweise gestellte Mischflügel mischen und kneten; anwendbar für nicht zu grobe Bestandteile. Drehzahl der Mischwelle 10 bis 15, der Vorgelegewelle 50 bis 100, für schnellaufende Motoren auch höher.

a) **Mit stetigem Materialdurchgang** nur für Mörtel: **Trichter-Mörtelmaschinen** (Abb. 17) und **Trog-Mörtelmaschinen** (Abb. 18). Füllung durch Schaufeln, Leistung bei Handbetrieb 1 bis 2 cbm/st, bei Maschinenbetrieb (2 PS) 2 bis 6 cbm/st. Gewicht 400 bis 600 kg.

Abb. 17.

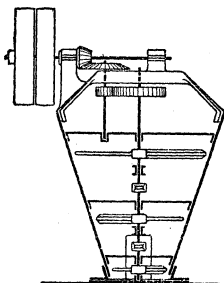


Abb. 18.

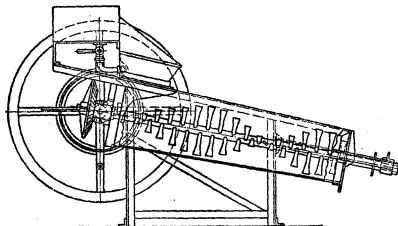
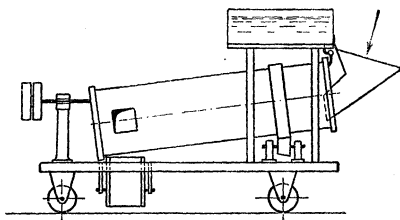
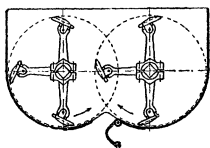


Abb. 20.

Abb. 19.



b) **Mit Einzelfüllungen**, 50 bis 750 l, Mischtrommel mit 1 oder 2 Rührwerken (Abb. 19), oben offen, Beschickung durch Fülltrichter, Entleerung durch Kippen oder durch Mantelklappe. Mischdauer bei Handbetrieb $2\frac{1}{2}$, bei Maschinenbetrieb 1 bis $1\frac{1}{2}$ min. Füllungen stündlich bis 40. Kraftbedarf 1,5 bis 6 PS, mit Aufzug 6 bis 12 PS.

2. **Maschinen mit rotierenden Trommeln** (für Beton), mit inneren, geraden oder becherartigen Schaufeln, die das Material heben und stürzen. Geringer Kraftbedarf und Verschleiß, geeignet auch für grobe Materialien und große Leistungen. Reinigung durch Stein Schlag und Wasser wie beim Mischen. Tourenzahl 10 bis 25.

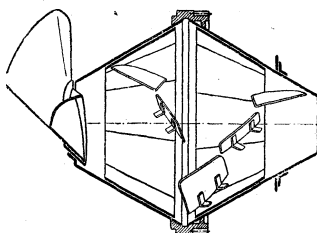
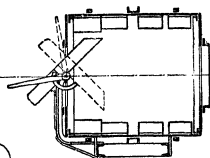
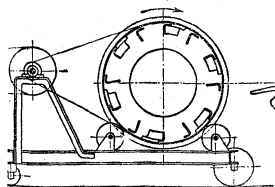
a) **Mit stetigem Durchgang** (Abb. 20). Trommel zylindrisch oder konisch, auf Rollen gelagert, Länge > 3 m. Füllung an der einen Stirnseite, Entleerung ständig am anderen Ende. Wasserzusatz in der Mitte. Leistung 3 bis 15 cbm/st, Kraftbedarf 1 bis 3 PS.

b) **Mit Einzelfüllungen** werden für größere und bessere Arbeiten meist angewendet. Füllung durch Vorfülltrichter durch die eine Stirn-

seite, Entleerung durch Öffnen der Trommelteile oder durch die andere Stirnseite mittels Schüttrinne (Abb. 21) oder durch Kippen der

Abb. 21.

Abb. 22.



Trommel (Abb. 22) (Smith-Milwaukee, doppelkonische Trommel im kippbaren Rahmen). Füllung 60 bis 1200 l, Leistung bei 30 bis 40 Füllungen 3 bis 50 cbm/st. Kraftbedarf 2 bis 16 PS (mit Aufzug), oder i. M. 0,4 PS-st/cbm.

Hebemaschinen für Bauzwecke.

A. Allgemeines.

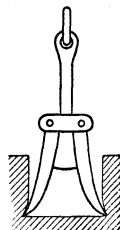
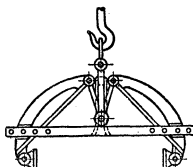
Antrieb. Handbetrieb ist nur für ganz untergeordnete Zwecke oder da, wo Motoren zu schwer sind, wirtschaftlich, wird aber auch sonst noch häufig angewendet wegen geringer Beschaffungskosten. — Elektromotoren sind am besten wegen geringen Gewichtes, steter Betriebsbereitschaft und großer Zuverlässigkeit. — Oelmotoren (meist Benzin) wie vor, aber von größerer Empfindlichkeit. Dampfmaschinen haben großes Gewicht, aber große Betriebssicherheit, erfordern ständige Beaufsichtigung und behördliche Genehmigung; s. auch II. Bd. S 382 u. f.

Zugorgane. Nur Drahtseile, die bei großen Längen auf glatten Trommeln übereinandergewickelt werden (bis 200 m Seillänge), besser gerillte Trommeln zur Schonung des Seiles.

Aufhängung der Last. Haken, Zangen bis 2 t, für Werksteine Kniehebelsteinzangen (Abb. 23) bis 7,5 t, mit verstellbarer Fassungsweite oder Steinwolf (Abb. 24) bis 7,5 t; kleine Einzellasten (Steine, Mörtel) in trag- oder fahrbaren Gefäßen; Erdboden und Beton in kipp- oder klappbaren Gefäßen von 0,4 bis 0,75 cbm.

Abb. 23.

Abb. 24.



B. Bauwinden.

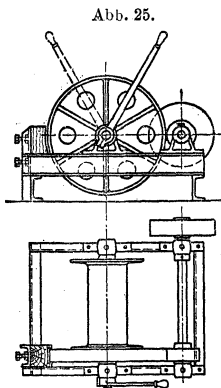
Hubkraft meist ≤ 2 t, darüber mit loser Rolle oder Flaschenzug.

1. **Handwinden** (Kabelwinden). Gestell aus Schmiedeeisen, Kurbelwelle ausschiebbar oder mit Sicherheitskurbeln. Bis 600 kg Trag-

kraft 1, darüber 2 Vorgelege und 2 Hubgeschwindigkeiten. Gewicht für 1 t Tragkraft rd. 400 kg. Sperradbremse oder Schleuderbremse auf der Trommelwelle.

2. **Transmissionswinden**, mit Riemscheiben, 200 bis 300 Umdrehungen, im Anschluß an eine vorhandene Kraftmaschine.

a) **Friktionswinden** (Abb. 25) für Lasten < 800 kg sind einfach, leicht und billig, verlangen aber aufmerksame Bedienung. Durch einen Hebel wird die Reibscheibe auf der exzentrisch gelagerten Trommelwelle gegen die Antriebsrolle oder einen festen Bremsklotz gedrückt. Hubgeschwindigkeit bis 30 m/min. Gewicht 450 bis 600 kg.



b) **Räderwinden** für Lasten bis 2 t, mit Fest- und Losscheibe, bei Doppelaufzügen mit offenen und gekreuzten Riemen, Windetrommel oder Vorgelegewelle mit Reibkupplung und Bremse, Ausrückhebel zweckmäßig mit Bremse verbunden. Gewicht 800 bis 1000 kg.

3. **Motorwinden**, fahrbar auf hohem Fahrgestell mit Drehschemel (geringer Fahrwiderstand) oder niedrigem Fahrgestell (größere Standsicherheit). Meist mit Zahnradern, Trommel mit Reibkupplung und Bremse nach Abb. 61, II. Bd. S. 390, oder für kleine Lasten auch Reibräder. Häufig mit Riemscheibe auf der Motorwelle ausgerüstet, um auch als Lokomobile verwendbar zu sein.

a) **Elektrische Winden**, mit Stirnrädern und abschaltbarer Trommel, nur für große Lasten mit Schneckentrieb und Umsteuerung. Anordnung so, daß der Motor in anderen Stromnetzen leicht ausgewechselt werden kann, deshalb auch Riemenübertragung angewendet.

b) **Benzinmotorwinden** mit langsam laufendem Einzylindermotor von 300 bis 400 Umdrehungen und 3 bis 10 PS mit Durchfluß- oder Verdampfungskühlung. Tragkraft normal 0,3 bis 2 t, Hubgeschwindigkeit 15 bis 25 m/min, Gewicht 2 bis 3 t. Für größere Lasten 2 Hubgeschwindigkeiten. Benzinverbrauch 0,35 kg/PS-st.

c) **Dampfwinden** mit stehendem Querrohrkessel und geschweißter Feuerbuchse, Heizfläche 4 bis 8 qm, Dampfdruck 7 at, Maschine einzylindrig mit Regulator, meist stehend, 4 bis 10 PS, 250 Umdrehungen. Kohlenverbrauch 3 bis 3,5 kg/PS-st. Gewicht bei 6 PS etwa 3 t mit Fahrgestell.

C. Baukrane.

I. Krane für Grundbauten, Tiefbauten, Lagerplätze usw.

Gewöhnlicher Drehkran auf Drehscheibe, im vollen Kreise drehbar, fahrbar auf Schienen, hat ein großes Arbeitsfeld, aber großes Gewicht. Ausladung etwa 5 m. Gewicht eines Dampfkranes bei 3 t Tragkraft 11 t.

Schwenkkran (Abb. 26), fest oder auf einem Unterwagen fahrbar, hat ein geringeres Gewicht, ist aber nicht im vollen Kreise drehbar (etwa 240°). Winde wird zweckmäßig getrennt aufgestellt, dann einfacher Transport und geringer Auflagerdruck (an Grubenrändern).

Abb. 26.

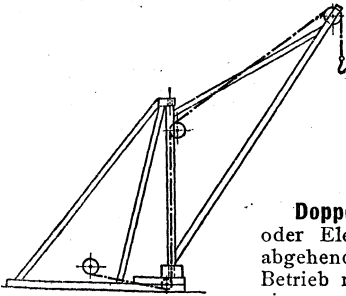
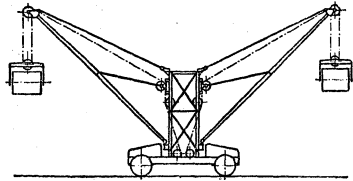
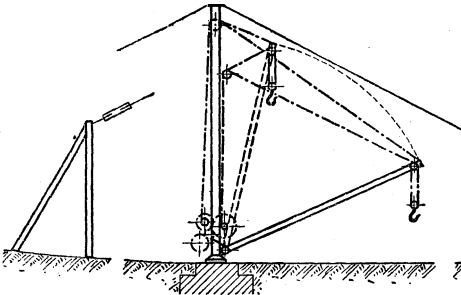


Abb. 27.



Doppel-Schwenkkran (Abb. 27), mit Oel- oder Elektromotor, für gleichzeitig auf- und abgehende Lasten bei Ausschachtungsarbeiten. Betrieb mit 3 Förderkübeln, von denen jeweils einer gefüllt wird. Ausladung 4 bis 5 m,

Abb. 28.



Tragkraft 1 bis 1,5 t, Hubgeschwindigkeit 20 m/min, Motor 5 bis 8 PS, Eigengewicht etwa 5 t.

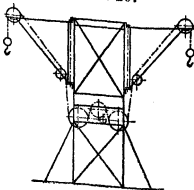
Derrick-Kran (Abb. 28), fest mit einziehbarem (Wipp-) Ausleger. Ausladung 3 bis 20 m. Oberes Lager wird durch weit ausgreifende Seile verspannt. Geeignet für Lagerplätze und Baugruben, die von dem Ausleger ganz bestrichen werden.

II. Krane für Hochbauten.

Antrieb von Hand oder elektrisch.

- a) **Einfache Krane für Handbetrieb** nur für Hilfsarbeiten oder seltene Benutzung (Balken, Träger) zweckmäßig. **Fester Auslegerkran** aus Holz, auf die Balkenlage aufgesetzt, ist leicht aufzustellen und billig. **Zwillings-Schwenkkran** (Abb. 29), auf einer aufgehenden Frontmauer mit nach hinten verankerter Strebe. Tragkraft 100 bis 300 kg, Ausladung 1 m, Gewicht 300 bis 500 kg. **Hochgerüst-Zweiradkran** von Jul. Wolff (Abb. 30), läuft einspurig auf einem (vorhandenen) Gerüst, wagerechte Abstützung unten an einer U-Eisenschiene.

Abb. 29.



Tragkraft 1 bis 3,5 t, Ausladung 2 bis 2,5 m, Rollenhöhe über Laufschiene 3,5 m. **Pfosten-Schwenkkran** (Abb. 31) mit unten stehender Winde, Ausladung 1,5 m. Tragkraft bis 2 t.

Abb. 30.

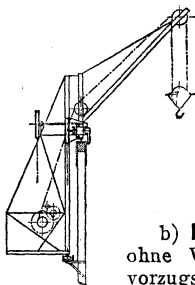


Abb. 31.

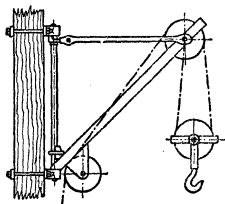
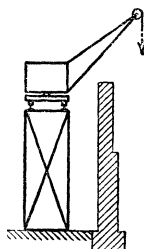


Abb. 32.



b) Drehkrane mit großem Arbeitsfeld

ohne Wechsel der Aufstellung werden vorzugsweise für Versatarbeiten angewendet. Hubwerk elektrisch, für Fahrwerk und Drehwerk genügt Handantrieb, sonst werden die Bewegungen von demselben Motor abgeleitet.

Abb. 33.

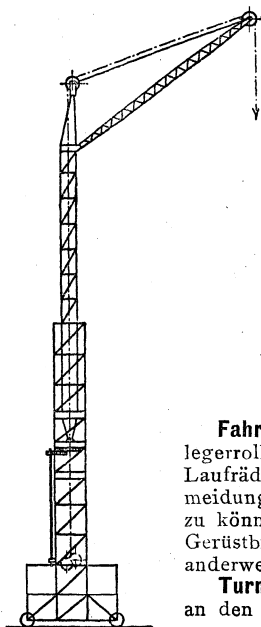
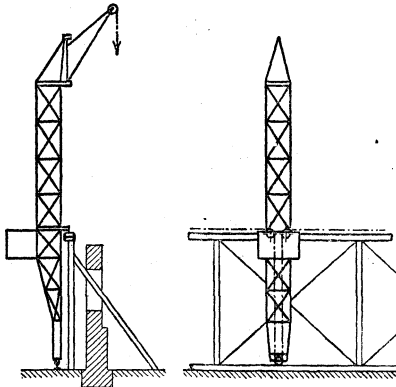


Abb. 34.



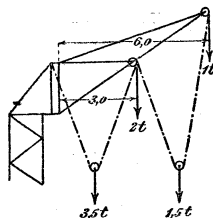
Fahrbarer Drehkran auf Gerüst (Abb. 32), Auslegerrolle möglichst hoch, bis 12 m über Laufschiene. Laufräder in Drehschemeln gelagert, um unter Vermeidung von Drehscheiben Winkelgerüste befahren zu können. Tragkraft 1 bis 3 t, Ausladung 6 m, Gerüstbreite 2 bis 2,5 m. Vorteil: Drehkran auch anderweitig benutzbar, Nachteil: sperriges Gerüst.

Turmdrehkran (Abb. 33). Fahrbar vor den Fronten, an den Ecken Drehscheiben. Die Aufstellung kann

auch auf einem abge bundenen Gerüst erfolgen, dann bleibt der Platz unter der Rüstung als Lagerplatz frei. Normale Bauart von Rieche, Kassel: Lastmoment 15 mt, (Tragkraft 3 t, Ausladung 5 m), Rollenhöhe 26 m, Spurweite 2,8 m, Radstand 3,6 m, Hubgeschwindigkeit 9 m/min, Fahrgeschwindigkeit 50 m/min, Motor (gleichzeitig Fahrmotor) 7,5 PS, Eigengewicht 22 t einschliesslich Ballast.

Mastenkran von Voss & Wolter (Abb. 34), läuft dicht vor der Front auf einer Schiene und führt sich mit einer wagerechten Rolle an einem Gerüst von 10 bis 13 m Feldweite. Längsabsteifung durch ein Drahtseil, welches an den Enden des Gerüstes verankert ist und an dem Mast über Rollen läuft. Lastaufhängung direkt oder mit loser Rolle (Abb. 35).

Abb. 35.



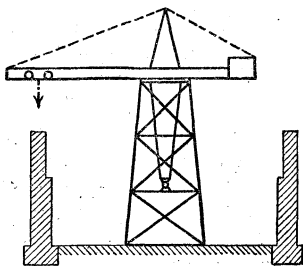
Normale Ausführungen.

Seitenlänge des Mastes mm	Gerüsthöhe m	Größte Rollenhöhe m	Lastmoment mt
800	6,8	19,4	6
800	10,0	22,5	6
1200	10,0	27,1	9,3
1200	12,0	31,1	9,3

Feste Drehkrane im Inneren des Gebäudes (Turmbauten) mit wagerechtem Ausleger und Laufkatze (Abb. 36), oder als Derrick-Krane mit langem (25 m) einziehbaren Ausleger auf einem, bei grossen Lasten auf drei Türmen (England) sind bisher in Deutschland selten angewendet.

c) **Laufkrane** erfordern hohe steife Gerüste und überspannen zweckmässig die ganze Gebäudetiefe (für schwere Einzellasten im Inneren) oder nur die Frontmauer für Versatarbeiten. Im letzteren Falle vielfach Holzträger und Handbetrieb, die Lasten werden durch Bauwinden zugeführt. Sonst elektrischer Antrieb, geeignet namentlich für sehr grosse Lasten und grosse Hubhöhen, wo Drehkrane nicht mehr ausreichen.

Abb. 36.



D. Bauaufzüge

für Kleinmaterial in Wagen oder Traggefässen. Winde unten mit Oel- oder Elektromotor und selbsttätiger Ausrückung.

a) **für große Leistungen:** Freistehende Fördertürme mit meist einer Förderschale für Wagen, die auf Gleisen zu- und abgefahren werden.

Abb. 37.

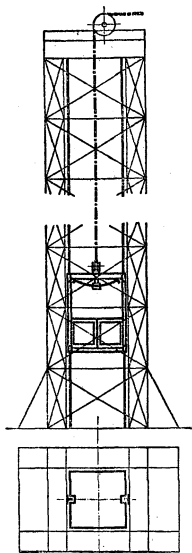
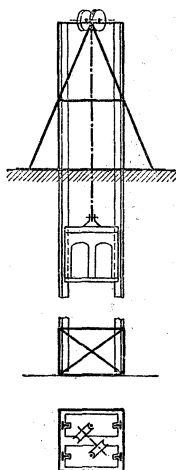


Abb. 38.



Förderturm nach Abb. 37 oben 3,4 m Seitenlänge, Förderschale 1,6×2 m Grundfläche, 1,8 m lichte Höhe, Führung an 2 T-Schienen; Ausrüstung mit Fangvorrichtung, Gegengewichten, Zwangsverschluss der Türöffnungen. Nutzlast 1 bis 1,5 t, größter Hub 22 m, Geschwindigkeit 15 m/min. Last kann in jedem Felde von 2 m Höhe abgezogen werden.

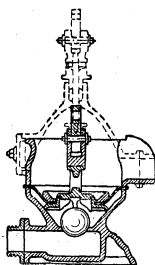
b) **für kleinere Leistungen:** Doppelaufzüge mit schmalen Förderschalen für 1 oder 2 Traggefäße zu 36 Steinen oder 65 l Mörtel. Türme freistehend oder dem Baufortschritt entsprechend aufgebaut (Abb. 38). Im letzteren Falle wird der obere Bock stockwerksweise versetzt und die Führungsschienen verlängert. Hubgeschwindigkeit 60 m/min. Tagesleistung bis 40000 Steine mit Mörtel.

Baupumpen.

1. **Schmutzwasserpumpen** für offene Baugruben.

a) **Kolbenpumpen.** Die noch viel benutzte zweistufige Baupumpe mit Handantrieb durch einen doppelarmigen Hebel, gebaut für 75 bis 450 l/min bei 30 Doppelhuben, wird heute verdrängt durch die

Abb. 39.



Membran- oder Diaphragma-Pumpe, meist als Saugpumpe mit offenem Ausguß (Abb. 39) verwendet, aber auch als Saug- und Hubpumpe mit geschlossener Haube und Druckstutzen (punktiert gezeichnet) verwendbar, jedoch nur für Gesamtförderrhöhen bis 12 m. Statt eines Kolbens wird eine eingespannte Membrane aus Paragummi oder Chromleder auf und nieder bewegt, mit Tellerventil in der Mitte; Saugventil als Gummikugelventil mit Eisen- oder Bleikern. Antrieb von Hand durch Hebel oder Kurbel oder maschinell durch Riemscheibe bis 65 Umdr. minutlich. Saughöhe bis 8 m, Leistung

bis 30 cbm/st, bei Doppelpumpen bis 60 cbm/st. Saugleitung als Gummispiralschlauch, bei Saughöhen > 4 m mit Fußventil. Vorteil: keine reibenden Teile, geringe Abnutzung, kleines Gewicht, große Zugänglichkeit und Betriebssicherheit.

b) **Kreiselpumpen.** Antrieb nur maschinell, auch als fahrbare Motorpumpen gebaut. Zweckmäßig mit einseitigem Einlauf und nur einer Stopfbüchse (Spülung mit Reinwasser) und auswechselbaren Spaltringen. Saughöhe bis 8 m, Druckhöhe bis 30 m, Wirkungsgrad $< 0,6$.

2. Reinwasserpumpen für Rohrbrunnen.

Für Trink- und Kesselspeisewasser in kleinen Mengen: Kolbenpumpen, sonst Kreiselpumpen wegen der größeren Einfachheit.

3. **Grundwasserabsenkung.** Rohrbrunnen mit eingehängtem Saugrohr werden reihenweise in der Baugrube aufgestellt.

a) Für Saughöhen < 7 m: Kreiselpumpen. Die Saugrohre werden an eine gemeinsame Ringleitung angeschlossen. Die Pumpen stehen bei Dampftrieb an einer Stelle mit ausreichender Reserve, bei elektrischem Antrieb an der Ringleitung verteilt.

b) Für Saughöhen > 7 m. 1. Stufenweises Absenken durch ein tieferes Brunnensystem mit Kreiselpumpen wie vor. 2. Mammutpumpen (vgl. II. Bd. S. 597) mit zentraler Drucklufterzeugung und Verteilung durch eine Ringleitung mit Anschluß an jeden Brunnen. Das Förderrohr der Brunnen gießt in eine offene Rinne aus. Große Einfachheit am Brunnen, aber schlechter Wirkungsgrad.

Ausführung am Spreetunnel der Berliner Untergrundbahn. Lichtweite des Brunnensrohrs 250, des Förderrohrs 110, des Luftrohrs 50, Luftdruck am Brunnen durch Ventil einstellbar, i. M. 1,8 at, am Kompressor 3 at.

3. Tiefbrunnenpumpen der Siemens-Schuckert-Werke, welche in jeden Brunnen eingesetzt und elektrisch angetrieben werden. Hoher Wirkungsgrad, aber teure Anlage.

NEUNTER ABSCHNITT.

WASSERBAU.

I. FLUSSBAU.^{*)}

I. Allgemeines.

Der Flußbau bezweckt:

1. Schutz der Ufer vor Beschädigung.
2. Beseitigung unerwünschter Geschiebe-Ablagerungen.
3. Erzielung neuer Verlandungen.
4. Schaffung von Fahrwassertiefen und Schiffahrtsanlagen.
5. Günstige Verteilung des Wasserabflusses.
6. Ausnutzung der Wasserkraft.
7. Verhinderung von Eisstopfungen.
8. Ermöglichung von Bewässerungs- und Entwässerungsanlagen.

Im wesentlichen handelt es sich um Schaffung eines Beharrungszustandes im Flußbett an Stelle der unbeständigen Zustände im unregelmäßigen Flußbett; dies gilt für die Wasser-, die Geschiebe- und die Eisabfuhr.

II. Vorarbeiten.

Die Vorarbeiten sollen möglichst den ganzen Flußlauf umfassen, um auch vereinzelt vorweg genommene Ausbauten nach einheitlichem Plane ausführen zu können.

^{*)} Handbuch der Ingenieurwissenschaften III. VI. Bd. 1907. — Handbuch der Baukunde, Wasserbau III. 2. — Amtl. Beschreibung der Stromgebiete Preussens, herausgegeben vom Wasserausschuß: Oder, Memel, Pregel und Weichsel, Elbe, Weser und Ems. — Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse. Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie im Großherzogtum Baden. — Tenbert: Verbesserung der Schiffbarkeit unserer Ströme. — Franzius: Zukünftige Regulierung der Flüsse auf Niedrigwasser (Z. d. B. 1893 S. 1, 1899 S. 269). — Wolff: Ueber Regulierung geschiebeführender Flüsse (Wochenbl. f. Baukunde 1886 S. 339). — Kgl. Preuss. Minist. d. öff. Arb. Denkschrift: Die Ströme Memel, Weichsel, Oder, Elbe, Weser und Rhein und die märkischen Wasserstraßen 1888. — Faber: Verbesserung der Schiffbarkeit des Oberrheins (Deutsche Bauzeitung 1897). — Möller: Studien über die Bewegung des Wassers in Flüssen usw. Zeitschr. f. Bauw. 1883. — Faber: Denkschrift über die Verbesserung der Schiffbarkeit der bayerischen Donau 1905. — Crugnola: Dynamik des Flußbetts. Zeitschr. f. Gewässerkunde 1902 bis 03. — H. Keller: Die Einwirkung von Strombauten. Z. d. B. 1896. — Tolkmitt: Grundlagen der Wasserbaukunst, 2. Aufl. 1907.

Die Vorarbeiten erstrecken sich auf Herstellung von Lage- und Höhenplänen (1:1000 bis 1:5000), Längsschnitten (Höhen 1:100, Längen nach Bedarf), Querschnitten des Flusses und Uberschwemmungsgebietes (Maßstab ebenso), Wasserstandsbeobachtungen, Geschwindigkeits- und Wassermengenmessungen (dargestellt durch Wassermengen-, Pegel- und Abflussmengenkurven) und Studium der

Abb. 1.

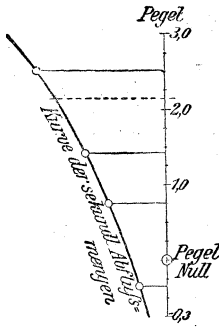
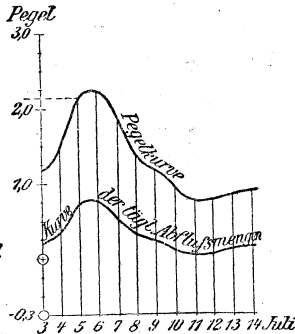


Abb. 2.



Die Gefälle werden bei verschiedenen Wasserständen durch gleichzeitige Pegelbeobachtungen, an Zwischenpunkten durch Marken (wie Nägel in Wasserspiegelhöhe an Pfählen) festgelegt.

Niedrigwasser NW ist das Mittel aus den niedrigsten Wasserständen jedes Jahres in einem bestimmten Zeitabschnitt; außerdem wird mitunter Niedrigsommerwasser NSW aus den niedrigsten Wasserständen der Sommer des Zeitabschnittes gebildet und entsprechend Niedrigwinterwasser NWW, Mittelwasser MW, Hochwasser HW; ferner sind wissenswert der überhaupt bekannte niedrigste Niedrigwasserstand NNW und der höchste Hochwasserstand HHW. Gewöhnlichwasser GW ist der Wasserstand, der ebenso oft überschritten als nicht erreicht wird (Häufigkeitsmittel). Der höchste schiffbare Wasserstand HSchW wird durch die Ausuferung, die Brückenunterkanten und die zunehmende Geschwindigkeit bestimmt.

Für die **Geschiebebewegung** ist maßgebend das Schleppkraftgesetz; der Angriff auf 1 qm Grundfläche des Bettes ist

$$S = 1000 t i \text{ kg/qm,}$$

worin t die Wassertiefe in m, i das Gefälle (als reine Zahl) bedeutet. Aus Flussstrecken mit regelmäßiger Geschiebeabfuhr ist S bei HW zu entnehmen.

Bei Berechnung der **Musterquerschnitte** ist zu unterscheiden zwischen künstlichen und natürlichen Wasserläufen.

Günstigste Querschnittform für künstliche Wasserläufe: Werkkanäle, Be- und Entwässerungsgräben u. dgl. führen gewöhnlich kein Geschiebe und Eis, die Wassermenge schwankt wenig, die Abmessungen

Geschiebebewegung und Eisabfuhr. In Anlehnung an natürliche Flussstrecken mit Beharrungszuständen wird hiernach der „Normal- oder Musterquerschnitt“ für die einzelnen Strecken ermittelt. Man unterscheidet die Regelung für Niedrigwasser, Mittelwasser und Hochwasser. Bezüglich der Wassermengen-Ermittlung vgl. I. Bd. S. 337.

sind freier zu wählen. (Betr. Geschwindigkeitsformeln s. I. Bd. S. 310 u. f.) Bei einem nach Größe und Form gegebenen Wasserquerschnitt F in qm, jedoch bei veränderlichem Umfange u ergibt der Querschnitt mit größerem $R = \frac{F}{u}$ den kleineren Reibungsverlust, d. h. den geringeren Gefälleverbrauch (vgl. I. Bd. S. 312).

Als Gleichungen zur Berechnung stehen zur Verfügung:

1. $Q = vF$, 2. $v = k\sqrt{Ri}$, 3. $R = \frac{F}{u}$, 4. $F = t(b + t \operatorname{ctg} \delta)$,
 5. $u = b + 2t\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \delta}$ (beim Trapez, wo δ = Neigungswinkel der Böschung gegen die Wagerechte, also $\operatorname{tg} \delta = 1:m$ das Böschungsverhältnis), 6. $S = 1000 Ri$, 7. $k = \sqrt{\frac{2g}{\rho}}$ nach der Formel von Bazin oder von Ganguillet und Kutter (vgl. I. Bd. S. 311).*)

Musterquerschnitte von Flüssen ohne Geschiebeführung.

Aus einer Musterstrecke mit günstigem Beharrungszustand sind folgende Mittelwerte bei verschiedenen Wasserständen zu bestimmen:

- a) mittlerer Querschnitt F ,
- b) mittleres Gefälle i ,
- c) mittlere Geschwindigkeit v_m ,
- d) mittlerer benetzter Umfang u und mittlere hydraulische Tiefe
 $R = \frac{F}{u}$,

- e) mittlere Geschwindigkeitsziffer $k = \frac{v}{\sqrt{Ri}}$

- f) mittlere Rauheitsziffer γ , [z. B. nach Bazin, I. Bd. S. 311

$$k = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad \text{aus} \quad \gamma = \left(\frac{87\sqrt{Ri}}{v} - 1 \right) \sqrt{R}.$$

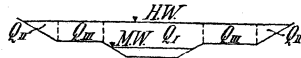
Mit alleiniger Rücksicht auf die Wasserführung ist die Berechnung wie bei künstlichen Gerinnen.

Gewöhnlich sind für den neuen Normalquerschnitt Q , i und γ gegeben. Bei einfachem Trapez- oder Parabelquerschnitt sind hieraus das neue R , F und v und die Querschnittsgestalt zu ermitteln. Bei Doppelquerschnitten für Mittel- und Hochwasser getrennte Berechnung des Flußschlauches und des HW-Abflußquerschnitts. Bei gegebenem HW-Stande werden die über dem Flußschlauch Q_I und die über den Seitenböschungen des Vorlandes abfließenden Wassermengen Q_{II}

*) Siehe Schüngel, Tafeln zur graphischen Ermittlung der Wassergeschwindigkeit. Kuttersche Tafel aus Kutter, Bewegung des Wassers in Kanälen u. Flüssen. R. W. Bern

berechnet, indem man sie als unabhängig fließend betrachtet, und von der Gesamt-HW-Menge Q abgezogen; $Q_{III} = Q - (Q_I + 2Q_{II})$, der Rest, muß über dem Vorlande abgeführt werden; hieraus wird dessen Breite berechnet, die beliebig auf beide Ufer verteilt sein kann, wobei indessen scharfe Wechsel zu vermeiden sind.

Abb. 3.



Wenn die HW-Höhe nicht gegeben ist, so sind Proberechnungen anzustellen. Vorländer erhalten gewöhnlich ein geringes Quergefälle zum Flusse, das sich auf die Dauer jedoch nicht von selbst erhält, da die Uferstreifen schneller auflanden als das weiter abliegende Vorland.

Musterquerschnitte von Flüssen mit Geschiebeführung.

Kommt die Abfuhr von Geschiebe und die Standfestigkeit von Sohle und Ufern wesentlich in Frage, so darf die Schleppkraft $S=1000it$ nicht über das in Musterstrecken gefundene Maß gesteigert werden. Die mittlere Geschwindigkeit gibt kein zuverlässiges Maß dafür. Rasen widersteht für kurze Zeit einer Schleppkraft von 2 bis 3 kg/qm. Sand gerät bei $S=0,2$ bis 1,0 kg/qm in Bewegung, Schotter bei $S=2$ bis 5 kg/qm.

Zahlentafel

des Verhältnisses der Standfestigkeit von Böschungen im Vergleich mit wagerechten Flächen.

$m = \text{ctg } \delta$	δ	$t : t_1 = S : S_1$			
		für $\varphi = 90^\circ$	$\varphi = 60^\circ$	$\varphi = 45^\circ$	$\varphi = 35^\circ$
20	3°	0,902	0,886	0,863	0,835
10	$5^\circ 50'$	0,815	0,790	0,748	0,699
5	$11^\circ 20'$	0,671	0,630	0,564	0,488
3	$18^\circ 30'$	0,518	0,464	0,381	0,288
2	$26^\circ 30'$	0,384	0,320	0,226	0,125
1,5	$33^\circ 40'$	0,287	0,220	0,121	0,018
1,25	$38^\circ 40'$	0,231	0,162	0,061	—
1,0	45°	0,172	0,101	—	—
0,8	$51^\circ 20'$	0,123	0,052	—	—
0,5	$63^\circ 30'$	0,055	—	—	—
0,2	$78^\circ 40'$	0,011	—	—	—

Die Standfestigkeit von Böschungen unter Wasserangriff verringert sich mit dem wachsenden Steigungswinkel δ der Böschung. Bezeichnet φ den Grenzwert des Böschungswinkels des Erdreichs über Wasser (bei nicht zu großer Höhe) infolge von Reibung und Zusammenhang der Erdteilchen, so gilt die Beziehung (nach Kreuter)

$$\frac{S}{S_1} = \frac{t}{t_1} = \frac{\sin \varphi - \sin \delta}{\sin \varphi + \sin \delta},$$

wobei sich S_1 und t_1 auf wagerechte Sohle und den Beginn der Geschiebebewegung beziehen.

Bedeutet χ einen durch Versuche zu bestimmenden Beiwert, der von der Geschiebeart abhängt, so ist die abgeführte Geschiebemenge

$$G = \chi (1000 t)^3 \int (t - t_0) t \, dx;$$

in Querschnitten von geringerer Tiefe als t_0 ruht die Geschiebebewegung. Bezeichnet U den Flächeninhalt des Querschnitts von der Tiefe $t > t_0$ und $x + t_0$ dessen Schwerpunktabstand von dem Wasserspiegel, so ist ein Maß der Geschiebebewegung

$$\mathfrak{S} = U (t_0 + 2x) = \int (t - t_0) t \, dx.$$

Hiernach läßt sich die Aenderung der Geschiebebewegung, der Querschnittform und des Gefälles beurteilen.

Im strömenden Wasser haben zwei ähnlich geformte Körper von verschiedenem Einheitsgewicht γ_1 und γ_2 gleichen Widerstand, wenn ihre Inhalte \mathfrak{B}_1 und \mathfrak{B}_2 sich verhalten wie

$$\frac{\mathfrak{B}_1}{\mathfrak{B}_2} = \frac{(\gamma_2 - 1)^3}{(\gamma_1 - 1)^3}$$

und ihre Gewichte \mathfrak{D}_1 und \mathfrak{D}_2 wie

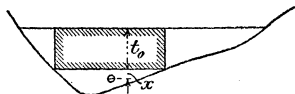
$$\frac{\mathfrak{D}_1}{\mathfrak{D}_2} = \left(\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_1 - 1} \right) \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_2}.$$

Hiernach ist die Größe und die Wirksamkeit des verschiedenen Gewichts von Schüttsteinen u. dgl. zu bemessen.

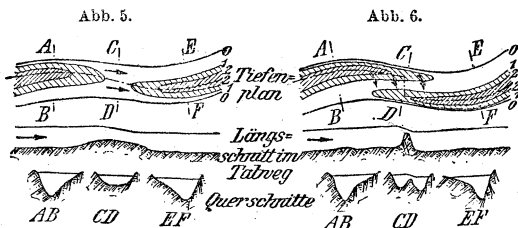
Bewegung des Wassers in Flußkrümmungen. Während in geraden regelmässigen Querschnitten eine annähernd geradlinige Bewegung der Wasserteilchen bei annähernd wagerechter Spiegellinie des Querschnitts angenommen werden kann, tritt bei Krümmungen durch die Fliehkraft ein Aufstau in der hohlen Seite auf; die oberen schnell fließenden Wasserteilchen drängen in das einbuchtende Ufer, die unteren langsamer fließenden werden nach dem ausbuchtenden gedrängt; so entsteht eine Schraubenbewegung; das Geschiebe folgt den unteren Wasserfäden. Daher der Angriff auf das hohle Ufer und die Aus-tiefung dort.

Zu unterscheiden sind Flußbetten, deren Geschiebeablagerungen immer an derselben Stelle stattfinden — mit „festliegenden Kies- oder Sandbänken“ (z. B. mittlere Weser, nicht begradigte Strecken der bayrischen Donau), und mit unregelmässigen Ablagerungen — „wandernden Bänken“ (z. B. Weichsel, Oberrhein zwischen Basel und Straßburg). Welche Form vorherrscht, hängt von der Normalbreite, dem Gefälle, dem Wechsel und der Dauer der Wasserstände ab. Bei günstigen Verhältnissen treten in geraden oder schwach gekrümmten Strecken fast trapez- oder schalenförmige Querschnitte auf, in schärferen Krümmungen fast dreieckförmige. Zwischen den Tiefen zweier aufeinander folgenden

Abb. 4.



Gegenkrümmungen liegt ein Uebergang (Furt oder Schwelle). Bei günstigen Verhältnissen gehen die Tiefen ineinander über (Abb. 5), bei ungünstigen



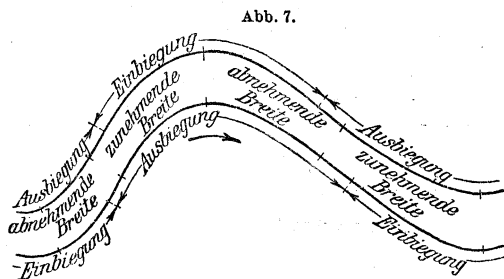
übergreifen sie sich (Abb. 6). Bei HW gleichen sich die Gefälle mehr aus, der Stromstrich streckt sich, daher kommen andere Teile des Ufers und Bettes in Angriff. Bei NW wird in den Tiefen längs der Hohl- ufer wenig Gefälle verbraucht, es ver-

einigt sich auf den Schwellen, die in geringer Tiefe überströmt werden; bei sehr beweglichem Bett wäscht es diese oft vorteilhaft aus. Je steiler und höher das Ufer, je stärker die Krümmung, um so stärker die Auskolkung davor.

Linienführung.

Je nach Zweck der Regelung. Wird Schifffahrt in erste Linie gestellt, so ist mäßige Geschwindigkeit bei möglichster Tiefe erwünscht; deshalb Beibehaltung eines langen Laufes, nur Beseitigung allzu scharfer Krümmungen; bei geringer Wassermenge verhältnismäßig schmaler Lauf. Wenn Hochwasser und Eisabfuhr sowie Sicherung des Grundbesitzes ausschlaggebend, so ist meist eine Streckung vorteilhaft; breites Bett begünstigt Eisstopfungen auf Untiefen, erleichtert aber die Hochwasserabfuhr. Geschiebeabfuhr wird durch ein gestrecktes, schmaleres, tiefes Bett befördert; dabei ist das Maß der zulässigen Eintiefung des Bettes, auch die Erhöhung des Bettes unterhalb zu beachten, besonders wegen des Grundwasserstandes.

Hochwasser- und Niedrigwasserstromstrich sollen möglichst zusammenfallen. Für die Schifffahrt sind meist die Uebergänge (Schwellen)



die schlechtesten Stellen des Fahrwassers; deshalb werden diese häufig durch Einengung verbessert; es tritt dabei zunächst eine Hebung des Spiegels nach oben hin auf, nachher bei beweglicher Sohle eine Auswaschung mit Senkung des

NW-Spiegels und ein Ausgleich der Gefälle. Die Normalbreiten wechseln daher, am besten ganz allmählich, nach nebenstehender Skizze (Abb. 7).

Zuerst hat immer die Festlegung des Bettes im großen durch Begradigung, Einschränkung des Mittel- und u. Umst. des Hochwasserbettes zu erfolgen, später erst der feinere Ausbau durch Regulierung auf NW, Vertiefung der Schwellen u. dgl.

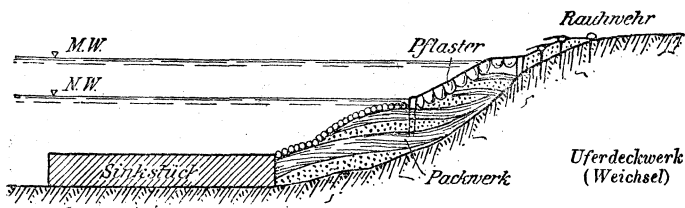
Mittel zur Regelung.

Bauten im Flusse: Längsbauten (Uferdeckwerke, unmittelbar am Ufer; Leitwerke, in einiger Entfernung davon); Querbauten (Buhnen, Sperrdämme zum Abschluß von Nebenarmen, Grundschwellen zur Festlegung der Sohle, Queranschlüsse für Leitwerke zur Verhinderung von Hinterspülung); Stauwerke; Baggerungen.

Bauten am Flusse: Durchstiche und Deiche, Flutaufspeicherungswerke.

Längsbauten geben dem Wasser sehr gute Führung, erfordern aber, wenn beiderseitig angeordnet, genaue Bestimmung der Normalbreite.

Abb. 8.



Bei Flüssen mit starker Geschiebeführung und Strömung besonders gebräuchlich, vornehmlich am hohlen Ufer.

Uferdeckwerke bei flachen

Ufern (etwa 1:3 bis 1:5) aus Steinschüttung, Senkfaschinen, Packwerk oder dgl. über MW leichter befestigt (Rauwehr, Spreutlage, Rasen), mit Grundböschung unter Wasser, mit oder ohne Berme in MW-Höhe; bei steilerer Steigung (etwa 1:1 bis 1:2) auch Pflaster; ganz steile Ufer sind mit Bohlwerken und Ufermauern zu decken.

Leitwerke sollen durch Verlandung allmählich in Uferdeckwerke übergehen. Wegen Hinterströmung ist auch Rückenseite zu befestigen; Lücken unterhalb der Queranschlüsse befördern die Auflandung. Zur

Abb. 9.

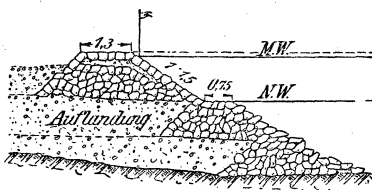
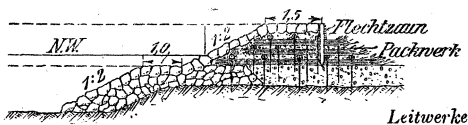
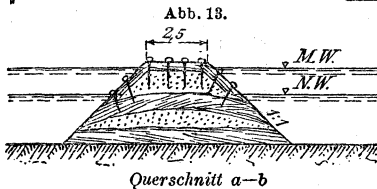
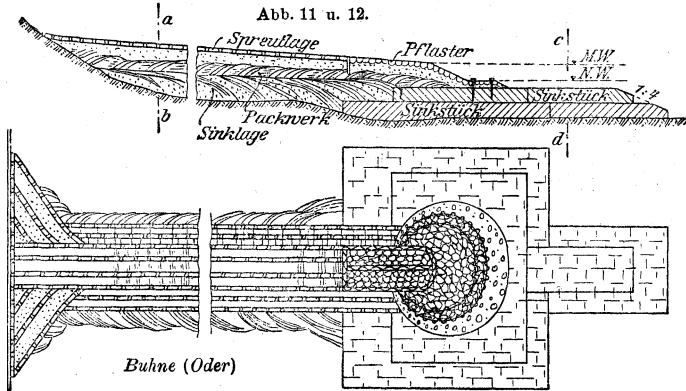


Abb. 10.



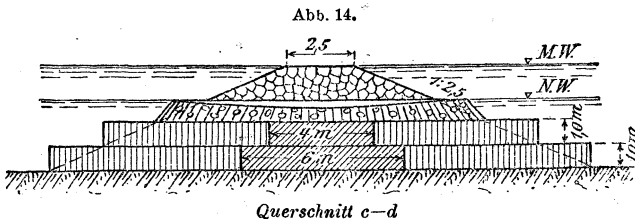
besonderen Regelung des Niedrigwassers werden empfohlen: bis zur NW-Höhe reichende Leitwerke mit ansteigenden Queranschlüssen, besonders an den Uebergängen; meist aus Faschinen hergestellt. Kronenbreite etwa 1,5 m; Böschung flußseitig wie bei Uferdeckwerken; landseitig bei Steinbau etwa 1:1,5, bei Buschbau bis 1:1.

Querbauten. Buhnen, teils kräftigere Hauptwerke, teils Schlickfänge, (leichtere Zwischenbauten); fast stets gruppenweise angewandt, gestatten allmähliche Erreichung der Normalbreite, erzeugen aber stets



kleine Gefällbrüche und sind deshalb hauptsächlich bei Flachlandflüssen im Gebrauch; Führung des Wassers unregelmäßiger als bei Längswerken, Wirbelbildung am Kopf und (an der Wurzel). Am ausspringenden Ufer verlanden sie leicht,

weniger oder garnicht im hohlen Ufer bei schärferen Krümmungen; kurze Buhnen (unter 10 bis 15 m) sind als wirkungslos oder schädlich



zu vermeiden; dafür besser Längswerke. Deshalb häufig Buhnen im Verein mit Längswerken angewendet. Wurzel im Ufer eingelassen,

sorgfältiger Anschluß an das Ufer. Kopf gegen Stromangriff besonders geschützt, Böschung 1:3 bis 1:10, mit Pflaster über MW, Steinschüttung oder Faschinen unter MW; Krone wagerecht oder besser zur Flußmitte abfallend (1:15 bis 1:200 je nach Länge); gegen Eis und Ueberströmung zu sichern (Pflaster, Packwerk, Rauwehr); 1 bis 5 m breit; Seitenböschungen 1:1,0 bis 1:2; bei flachen Böschungen bessere Verlandung. Richtung der Bühnen meist stromaufwärts, in geraden Strecken 70 bis 75° zum Stromstrich, in Krümmungen bis 90°; doch kommen auch sonst Bühnen vor, die senkrecht zum Stromstrich oder stromabwärts gerichtet sind. Letztere haben geringere Verlandung und geringeren Uferschutz zur Folge, jedoch auch geringeren Angriff auf den Kopf auszuhalten. Bei Bühnen auf beiden Ufern Köpfe gegenüber, außer in Krümmungen. Abstände je nach Normalbreite, nach Richtung und Stärke der Strömung, Bühnenlänge und Gestalt des Flußbettes und nach örtlichen Erfahrungen; feste Regeln gibt es nicht. Höhe der Krone so, daß HW keine merkliche Erhöhung erfährt, jedoch die zur Reinhaltung der Niedrigwasserrinne erforderlichen Wassermengen zusammengehalten werden; nicht höher als die Ufer. Bau häufig in mehreren Jahren, nach Länge und Höhe, um allmähliche Umgestaltung zu erzielen und die Anlandungen zu begünstigen. Anlandungen durch Pflanzungen zu befestigen.

Tauchbühnen gehen in stetiger Neigung bis auf die Flußsohle.

Grundschwellen wirken wie Grundwehre; sie erzeugen leicht Unregelmäßigkeiten (Kolke) in der Sohle und in der Strömung bei NW; Hebung der Sohle kann, wenigstens in geraden Strecken, eintreten, u. Umst. auch des NW. Bauart aus Sinkstücken oder Steinschüttungen.

Schwebende Bauten (Wolfsche Bauweise). In stark Geschiebe führenden Flüssen kann durch Ermäßigung der Strömung durch an Stangen vorübergehend befestigten Busch oder Bretter in Höhe des Wasserspiegels eine schnelle Auflandung erzielt werden, die dann leicht zum neuen Ufer ausgebaut werden kann.

Durchlässige Bauten wirken ähnlich; zwischen zwei bühnenartig vortretende Pfahlreihen wird eine dünne Schicht Busch eingebracht und die Sohle als Sturzbett befestigt. Auch Drahtgitter werden empfohlen.

Sperrdämme. Krone gewöhnlich auf MW-Höhe, gut befestigt. Zunächst Sicherung der Sohle unterhalb durch Sinkstücke u. dgl., dann

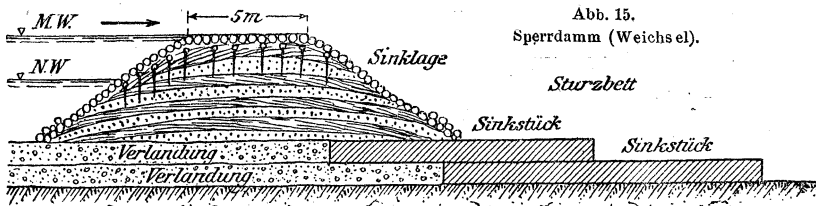


Abb. 15.
Sperrdamm (Weichsel).

möglichst rascher Vorbau von beiden Ufern mit Packwerk u. dgl. Lage meist am oberen Ende des abzuschneidenden Flußarmes, im

Grundriffs bogenförmig nach unten hohl; zuweilen mehrere Sperrdämme hintereinander. Die Auflandung des verlassenen Armes wird sehr gefördert, wenn zunächst nicht völliger Abschlufs, sondern Ermäfsigung der Strömung durch schwebende Bauten erzeugt wird.

Durchstiche. Zu beachten ist die Sohl- und Spiegelsenkung oberhalb mit Rücksicht auf das Grundwasser und die Bauwerke, die Sohl- und Spiegelhebung unterhalb infolge der in Bewegung gesetzten Geschiebemassen besonders wegen der Schifffahrt, die Vermehrung der Geschwindigkeit (nicht über 2 m/sk). Durchstiche sind zweckmäfsig zur Beseitigung von der Schifffahrt hinderlichen Krümmungen, um gefährdete Ufer ausser Angriff zu setzen, zur Beschleunigung des Wasserabflusses und der Eisfahrt.

Richtung am oberen Ende so, dafs sie mit der der angrenzenden Flufsstrecke zusammenfällt. Bei mehreren Durchstichen hintereinander wird am besten unten begonnen. Meist wird nicht der volle Querschnitt ausgehoben, sondern nur ein oder mehrere Leitgräben von mindestens $\frac{1}{10}$ der Normalbreite; wenn der Gefällgewinn gering ist, erheblich mehr. Unten enger als oben, damit die Vertiefung nach oben fortschreitet. Durch geeignete Bauten im alten Lauf wird dem Durchstich das Wasser zugewiesen.

Altarme sind durch Flechtzäune und Anpflanzungen zu verlanden; das HW mufs Zutritt erhalten.

Flussspaltungen und Flufsvereinigungen (Mündungen).

Spaltungen sind im allgemeinen unerwünscht, besonders hinsichtlich der Eisfahrt; wo sie bestehen bleiben müssen, ist durch Schöpfbuhnen für das richtige Verhältnis der Wasser- und Geschiebeführung zu sorgen. Mittel, welche die Versandung eines Armes herbeiführen würden, sind zu vermeiden, umgekehrt wie bei Durchstichen. An jeder Stelle mufs der Normalquerschnitt vorhanden sein, deshalb allmähliche Trennung und Vereinigung durch spitze Zunge. Bei Einmündungen von Nebenflüssen ist die verschiedenartige, unabhängige Wasser- und Geschiebeführung zu beachten. Form der Mündung so, dafs das Geschiebe des Nebenflusses in den Stromstrich des Hauptflusses gelangt; meist durch schlanke Form der Mündung am einbuchtenden Ufer zu erreichen. Bei verhältnismäfsig kleinen Nebenflüssen, wenn deren Sohle hoch genug liegt, ist senkrechte Einmündung zweckmäfsig. Sonst ist das gegenüberliegende Ufer gefährdet.

Zur Verringerung des Rückstaus im Nebenflufs wird häufig die Mündung stromab zu verlegen sein; vorausgesetzt ist dabei genügendes Gefälle.

Baustoffe im Flufsbau und Baubestandteile.

Bei den meist grofsen erforderlichen Mengen mufs sich die Wahl des Baustoffes und damit oft der Bauweise nach den verfügbaren Baustoffen richten. Es kommen in Frage:

Faschinen, 3 bis 6 m lange, 0,3 m starke Bündel aus nicht sperrigem, frischem Nadel- oder Laubholz, einzelne Reiser nicht über 3 cm stark;

Pfähle aus rundem oder gespaltenem Holz, 0,60 bis 1,50 m lang, 3 bis 5 cm stark, zum Festheften der Faschinen; Bindedraht, Kies verschiedener Korngröfse, Ziegelschotter, Schüttsteine, Pflastersteine und Rasen (Kopf- und Flachrasen).

Pflaster auf Kies, Schotter oder Steinsatz oder mit Mörtelverguß; 12 bis 40 cm stark, je nach dem Angriff. Auch Kunststeine oder Platten (mit und ohne Drahtanker) werden verwandt. Wichtig ist die Sicherung des Fufses durch Pfahlreihen, 1,5 m lang, 10 bis 15 cm stark, lose Steinschüttungen oder dergl.

Steinpackungen aus möglichst dicht verlegten Rundsteinen zwischen Pfahlreihen oder Flechtzäunen.

Steinschüttungen sollen entweder beweglich sein (möglichst runde Steine), um Auskolkungen selbsttätig auszufüllen, oder fest, als Grundlage für andere Bauteile (eckige Steine).

Packwerk besteht aus kreuzweise verlegten Faschinenlagen, die durch 15 bis 20 cm starke Bundfaschinen oder „Würste“ mit Pfählen verbunden und mit Erde, Kies u. dergl. beschwert werden. Wie alles Faschinenwerk über MW sehr vergänglich.

Flechtzäune zur Einfassung von Pflaster, zum Auffangen von Geschiebe u. dergl. Pfähle 0,70 bis 1,50 m in 0,30 bis 0,50 m Abstand, mit biegsamem Reisig durchflochten.

Senkfaschinen zum Schutze des Fufses von Böschungen usw., walzenförmig oder spindelförmig, aus dichtem Reisig mit Kern von Kies oder Steinen, 0,70 bis 1 m stark, Länge von 3 m an bis „endlos“. Vereinzelt auch als drei- oder vierkantige Senkkörbe hergestellt.

Sinkbäume zum Auffangen von Sinkstoffen in Kolken, aus dicht belaubten Bäumen bestehend, die mit einem Stein oder Betonklotz am Stammende versenkt werden.

Rauhwehr zur Deckung von Böschungen über NW aus dünner Lage von Reisig mit Flechtzäunen oder aufgeschälten Würsten befestigt. Die Reiser sollen mit den Spitzen (Wedeln) schräg nach unten und stromab an der Böschung liegen, die Würste schräg nach oben und stromauf; weniger gut ist die Lage senkrecht und gleichlaufend zum Strom (Spreitlage). Am besten aus frischen Weiden, die anwachsen.

Abb. 16.

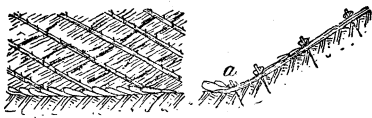
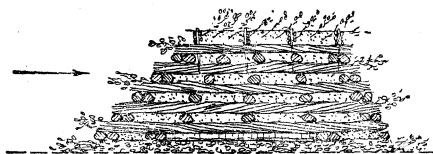


Abb. 17.



Abb. 18.

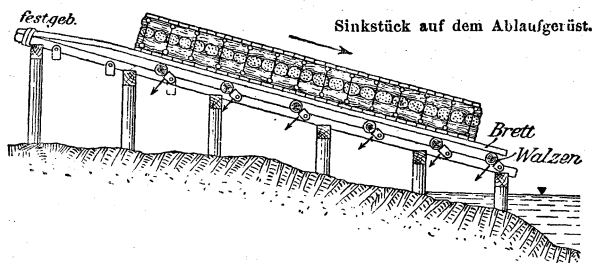


Sinklagen zur Herstellung von dammartigen Körpern in tiefem strömendem Wasser aus Faschinen, in schrägen, 1:1½ bis 1:2 ge-

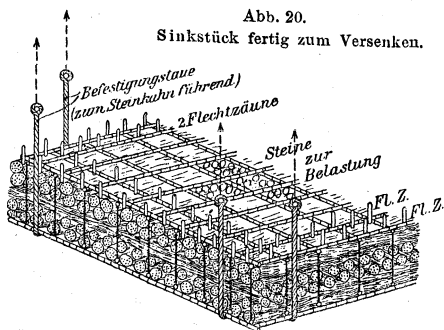
neigten Lagen von 0,6 bis 1 m Dicke, vom Ufer aus vorgetrieben. Die Faschinenlagen der Spitze schwimmen (bei starkem Strom mit Unterstützung von Schwimmbäumen), während der landseitige Teil durch Aufbringen von Erde, Kies u. dgl. und neue Lagen von Faschinen auf die Sohle gesenkt wird. Die Vor- und Rücklagen werden durch aufgepfählte Querwürste in Verband gebracht. Abdeckung über Wasser durch Steinschüttung, Pflaster, Rauwehr u. dgl. Zusammenpressung etwa $\frac{1}{12}$ der Höhe.

Sinkstücke zur Herstellung zusammenhängender biegsamer Buschkörper in größerer Wassertiefe; gewöhnlich 1 m dick, bis 20 m breit,

Abb. 19.



werden schwimmend zwischen Kähnen an Ort und Stelle gebracht und durch Aufwerfen von Steinen versenkt.

Abb. 20.
Sinkstück fertig zum Versenken.

Herstellung auf schwimmendem Balkenrost oder auf Ablaufgerüsten auf dem Lande oder auf Prahmen. Bestehen aus einem unteren Netz von Faschinenwürsten oder starken Drähten, auf denen meist 4 Lagen von Faschinen im Verbande aufrufen, darüber wieder ein Netz von Würsten, die übereinanderliegenden Kreuzungsstellen der Würste werden mit quer durch die Faschinen reichenden Drähten ver-

bunden. Eingetriebene Pfähle geben noch mehr Halt und Verband.

Sinkmatten sind an Ort und Stelle hergestellte „endlose“, sinkstückartige Faschinenkörper von schwächerer Bauart.

Schwebekörper oder Gehänge bestehen aus Faschinen, die im Wasserspiegel an Latten zwischen Pfählen angebracht sind; die Stammenden weisen nach Flufs, die freischwebenden Wipfelenden nach dem Ufer oder Nebenarm hin, wo die Geschiebeablagerung erstrebt wird.

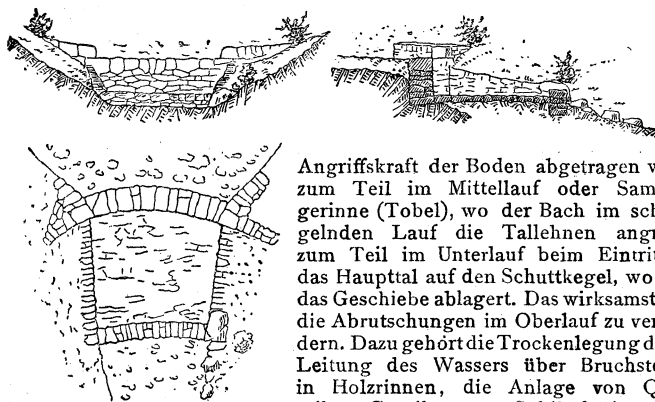
Pflanzungen, besonders von Weiden (*salix viminalis*, *alba*, *caspica*), seltener von Pappeln und Erlen sind ein viel angewandtes Mittel, um Anlandungen zu erzeugen oder festzuhalten; nur über MW; Reihen- oder Nesterpflanzung. Pflanzungen von Schilf und Rohr an flachen Uferböschungen zum Uferschutz (vgl. Z. f. B. 1897, Gerhardt).

Wildbachverbauung.*)

Die Wildbachverbauung hat den Zweck örtlichen Schutzes und der Verbesserung der unterhalb liegenden Flußstrecke bei übermäßiger Geschiebezufuhr. Bei lockerem Boden oder mürbem Gestein, steilem Gehänge, auch bei Zerstörung der Pflanzendecke und der Bewaldung und bei reichlichen Niederschlägen oder mangelndem Abflusse sind die Vorbedingungen für Murenbildung (Schuttströme) gegeben. Die Arbeiten der Verbauung erstrecken sich zum Teil auf das Sammelgebiet oder den Oberlauf des Wildbaches, wo bei Ueberschufs von

Abb. 21 bis 23.

Steinerne Geröllsperre.



Angriffskraft der Boden abgetragen wird; zum Teil im Mittellauf oder Sammelgerinne (Tobel), wo der Bach im schlängelnden Lauf die Tallehnen angreift; zum Teil im Unterlauf beim Eintritt in das Haupttal auf den Schuttkegel, wo sich das Geschiebe ablagert. Das wirksamste ist, die Abrutschungen im Oberlauf zu verhindern. Dazu gehört die Trockenlegung durch Leitung des Wassers über Bruchstellen in Holzrinnen, die Anlage von Querzeilen, Geröllsperren, Sohlbefestigungen;

Sperren wirken hauptsächlich durch die Ermäßigung des Gefälles und die Hebung und Verbreiterung der Talsohle, wodurch sich die Lehnen in natürlichem Böschungswinkel abböschsen können; Abtreppung der Talsohle; Stausperren zur Zurückhaltung des Hochwassers lassen sich

*) H. d. L.-W. 1900. III. 2. 1. Abschn. XI B u. C von Kreuter. — H. d. B. 1890. Wasserbau. Wildbachverbauung und Regulierung von Gebirgsflüssen, von Frauenholz. — Die Wildbachverbauungen in der Schweiz. Vom eidgen. Oberbauinspektorat. 1890. — Die Wildbachverbauungen in den Jahren 1883 bis 1894. Vom k. k. Ackerbauministerium. Wien 1895. — Ueber Wildbachverbauungen. Von F. Toula. Schriften d. Vereins z. Verbr. naturwissenschaftlicher Kenntn. in Wien. 1891/92. — Daten über den Etschfluß. Von August Ritt. 1893. — Denkschr. über die f. d. Regul. der Gewässer in Tirol ausgef. Arb. Von August Ritt. 1893. — Rheinregul. Von Ph. Krapf. Oest. Zeitschr. f. d. öff. Baudienst. 1897, V; 1898, X. — Wasserverhältnis im Gebirge. O. Intze, Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen. 1899. I.

selten ausführen. Bauweise in Stein (Trockenmauerung), Holz oder gemischt (Steinkisten). Auf gutes Einbinden der Flügel in die Hänge

Abb. 24.



Abb. 26.

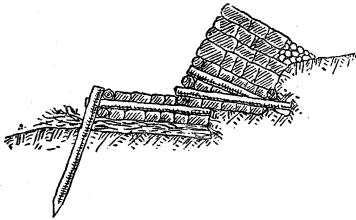
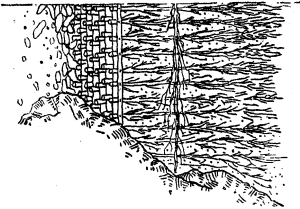


Abb. 25.



und Schutz gegen Unterspülung beim Sturzbett (Pflaster, Gegensperre mit Wasserpölster) ist zu achten. Umläufe in Seitengerinnen selten; auf rasche Abschleifung des Gesteins ist zu rechnen.

Ueber die Schuttkegel werden die Wildbäche in Schalen oder zwischen Mauern möglichst geradlinig weggeführt. Auch werden

Abb. 27.

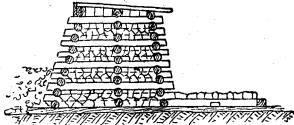
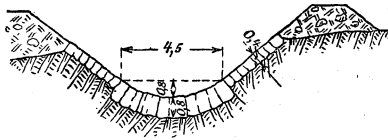


Abb. 28.



Schuttanlageplätze zwischen Mauern geschaffen, um das angrenzende Kulturland zu schützen.

Bändigung der Gebirgsflüsse.

Die Bändigung der Gebirgsflüsse hat den Zweck, die regelmässige Abfuhr der Geschiebe, Bodenverbesserung, Ausnutzung der Wasserkraft und vereinzelt Erleichterung der Flösserei zu ermöglichen. Mittel zur Bändigung sind Geradlegung und Breitereinschränkung zur Erhöhung der Schleppkraft, um Eintiefung des Flusses zu erzielen; Uferschutz durch Böschungsabflachung, Längs- und Querbauten (vgl. Flussbau

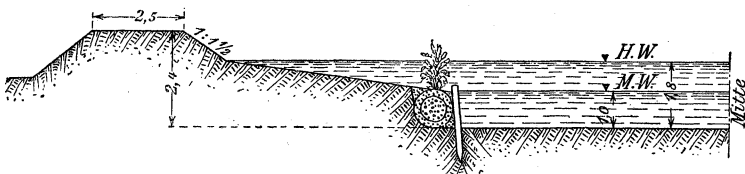
Abb. 29.



S. 538 u. f.). Meist Steinbauten, weil Holz dem Wechsel des Wasserstandes und dem groben Geschiebe nicht widersteht. Zuerst Schutz der Ortschaften und Verkehrswege, danach des Kulturlandes. Bändigung

im allgemeinen flussaufwärts fortschreitend, da sonst die von oben kommenden Schottermassen nicht verarbeitet werden können und das Hochwasser gesteigert wird. Sohlvertiefungen oder Erhöhungen pflanzen

Abb. 30.

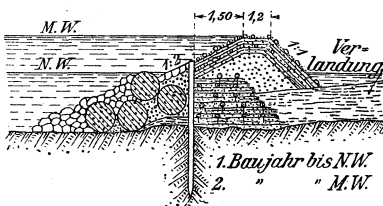


sich nach oben hin fort. Querschnitte einfach oder zweiteilig für HW nach der Wasserführung und der Schleppkraft zu bemessen, Ausführung oft in mehreren Stufen. Deiche da, wo der Fluß nicht tief genug gelegt oder das Land nicht aufgehöhht werden kann; dahinter Entwässerungsgraben.

Einmündung von Nebenflüssen in größere Flüsse möglichst zwischen glatten Leitwerken; die Sohlenlage richtet sich nach dem Rückstau. Wenn Hauptfluß nicht durch Geschiebe belastet werden darf, sind Ablagerungsplätze an der Mündung des Nebenflusses vorzusehen.

Im Hauptfluß entsteht bei Geschiebezufuhr an der Mündung ein Gefällbruch.

Abb. 31.



Die Verbesserung und Regelung der schiffbaren Flüsse.*)

Bei schwachem Gefälle und mäßiger Schiffsgeschwindigkeit (5 km/st) können nach Franzius (Z. d. B. 1893) folgende Mindestbreiten für Einzelschiffe angenommen werden:

Wassertiefe	1,2 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
Sohlbreite	36 m	40 m	45 m	50 m	60 m.

Bei Schleppzügen größere Breiten.

*) Vgl. S. 532; außerdem für den Rhein: Honsell, Die Wasserstrasse Mannheim—Ludwigshafen. Z. d. B. 1890. Faber, Schiffbarmachung des Oberrheins. Deutsche Bauztg. 1893 u. 1897. Franzius, Regulierung des Oberrheins. Deutsche Bauztg. 1895. — Weser: Schattauer, Z. d. B. 1881 Nr. 2 u. 24; 1885 Nr. 9 u. 10 A. — Elbe: Oelwein, Regelung der mittleren Elbe. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1887. Dgl., Die Schiffbarmachung der Moldau. Ebenda 1887. Schmidt, Regulierung der Elbe in Sachsen. Weber, Grundrissform des Elbstroms. Zeitschr. f. Gewässerk. 1898. — Oder: Peschek, Der Großschiffahrtsweg bis Breslau. Z. d. B. 1898 S. 5. — Weichsel: Müller, Die Regulierung der Weichsel. Z. d. B. 1895. — Donau: Regulierung der Donau in Oberungarn. Z. d. B. 1882. Fortschritte der Donauregulierung. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1885.

Tauchtiefe der Fahrzeuge 0,20 bis 0,70 m geringer als Wassertiefe, je nach der Fahr- und Wassergeschwindigkeit und dem Zustande des Fahrwassers.

Die Musterquerschnitte werden gewöhnlich als Parabeln berechnet; die Böschungen dann in eine der Ausführung besser entsprechende Form umgeändert; in Krümmungen wird die Parabel zuweilen unsymmetrisch angeordnet, der Scheitel näher dem hohlen Ufer; sonst nach den Grundsätzen: Flußbau, Allgemeines, S. 532.

Kanalisierung der Flüsse.*)

Die Kanalisierung der Flüsse hat den Zweck, die Wassertiefe über das durch Regulierung erreichbare Maß hinaus zu vermehren, zuweilen auch, das Gefälle zu ermäßigen oder Wasserkräfte nebenbei nutzbar zu machen.

Das natürliche Gefälle des Flusses wird bei der Kanalisierung an einzelnen Stellen, den Staustufen, durch Wehre zusammengefaßt, die dazwischenliegenden Flußstrecken heißen Haltungen. Neben jedem Wehr ist eine Schiffsschleuse zu erbauen, zuweilen auch eine besondere Floßschleuse. Für die Wanderfische sind Fischpässe anzulegen. Nur selten kann das Wehr ohne Schleuse durch einen längeren Seitenarm umgangen werden. Um bei hohen Wasserständen ohne Benutzung der

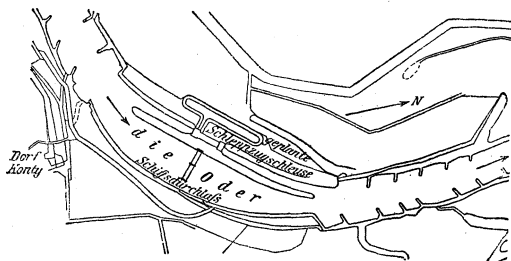
Schleuse den Fluß befahren zu können, ist ein Schiffsdurchlaß erforderlich. Das Gefälle der Staustufen vermindert sich bei wachsendem Wasser und verschwindet bei Hochwasser meist ganz.

Die Kanalisierung bietet gegenüber der Regulierung des Flusses folgende Vorteile: Die Fahrtiefe ist auch bei den

kleinsten Wassermengen vorhanden; hierdurch wird die Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Schifffahrtbetriebes gehoben.

Die Bau- und Unterhaltungskosten lassen sich im voraus genauer feststellen als bei Regulierungen und durch Abgaben verzinsen, was bei Regulierungen nach Maßgabe der Gesetze schwierig ist.

Abb. 32.
Staustufe Konty.



*) H. d. J. 1906. III. 5. Bd. — Z. f. B. 1901 Bau des Dortmund-Ems-Kanals; 1896 Mohr, Die Kanalisation der Oder; 1890 Mohr, Oder-Spree-Kanal; 1896 Germelmann, Verbesserung des Spreelaufes in Berlin; 1899 Volkmann, Fuldakanalisierung. — Faber, Denkschrift über Main-Donau-Wasserstrasse. — Allg. Bauztg. 1887 Mrosik, Kanalisation der Moldau und Elbe. — Roloff, Amerikanisches Wasserbauwesen 1895. — Zeitschr. f. Binnensch. 1896/97 Prüssmann, 1900 Hentrich, Kanalisation der Lippe. — Zeitschr. d. österr. Arch.- u. Ing.-Ver. 1903 Carstanjen, Walzenwehre.

Vielfach lassen sich Verbesserungen der Ent- und Bewässerungen mit Kanalisierungen vereinigen und Wasserkräfte nutzbar machen.

Nachteile der Kanalisierung sind die hohen Bau- und Betriebskosten, der Zeitverlust der Schiffe an den Schleusen, die Störung der Flößerei, unter Umständen die Erhöhung des Grundwasserspiegels, die Gefahr einer allmählichen Aufhöhung der Flußsohle und Hebung der Hochwasserstände durch Geschiebeablagerungen.

Statt der Kanalisierung werden zuweilen auch längere Seitenkanäle angeordnet, wobei die Zahl der Schleusen verringert und ungünstige Flußstrecken ausgeschaltet werden.

Die Lage der Staustufen oberhalb der Einmündung von Nebenflüssen und Strecken stärkeren Gefälles ist gewöhnlich vorteilhaft. Um die Schleusen im Trocknen herstellen zu können, legt man sie womöglich in Durchstiche, die starke Krümmungen abschneiden.

Die Höhe des Stauspiegels richtet sich nach dem obersten Punkte jeder Haltung; ist die Stauhöhe im Verhältnis zur ungestauten Wassertiefe gering, so nimmt man eine wagerechte Staulinie an (hydrostatischer Stau), während bei größerem Verhältnis der gestauten Wassertiefe zur ungestauten der hydraulische Stau zu berechnen ist. Wenn Q die Wassermenge in cbm/sk, F der Querschnitt in qm und u der Umfang des mittleren Querschnitts der angestauten Haltung in m , k der zugehörige Geschwindigkeitsbeiwert, l die Entfernung von der Staustelle in m und z das Gefälle des Stauspiegels in m ist, so beträgt angenähert am Punkte l

$$z = \frac{Q^2 l u}{k^2 F^3}.$$

Betrachtet man die Staulinie näherungsweise als Parabel, so ergibt sich die hydraulische Stauweite gleich der doppelten hydrostatischen Stauweite. (vgl. auch Hütte, I. Bd. S. 312 sowie Danckwerts, Tabelle zur Berechnung der Stauweiten.)

Für parabelförmige Querschnitte kann die Entfernung l in der der Stau vom Werte h auf z abnimmt, beim Gefälle J und der Tiefe a des ungestauten Wasserlaufs im Scheitel der Querschnittsparabel nach Tolkmitt aus der Gleichung berechnet werden

$$l = \frac{a}{J} \left[F \left(\frac{a+h}{a} \right) - F \left(\frac{a+z}{a} \right) \right],$$

wo die Funktion

$$F \left(\frac{a+z}{a} \right) = \frac{a+z}{a} - \frac{1}{4} \ln \left(1 + \frac{2a}{z} \right) - \frac{1}{2} \operatorname{artgc} \left(1 + \frac{z}{a} \right) + \frac{\pi}{4}.$$

Für Trapez- und ähnliche Querschnitte können durch Umwandlung in gleich große Parabelquerschnitte gleicher Spiegelbreite die Formeln

Abb. 33.

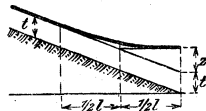
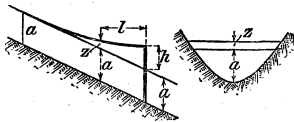


Abb. 34.



näherungsweise benutzt werden, wenn die Böschungsneigung des Trapezes usw. von der der Ersatzparabel nicht zu stark abweicht.

Tolkmittsche Tafel zur Berechnung von Staukurven.

$\frac{a+z}{a}$	$F\left(\frac{a+z}{a}\right)$	$\frac{a+z}{a}$	$F\left(\frac{a+z}{a}\right)$	$\frac{a+z}{a}$	$F\left(\frac{a+z}{a}\right)$	$\frac{a+z}{a}$	$F\left(\frac{a+z}{a}\right)$
1,00	— ∞	1,16	0,865	1,37	1,221	1,50	1,850
1,005	— 0,102	1,17	0,887	1,38	1,235	1,95	1,904
1,01	+ 0,074	1,18	0,908	1,39	1,249	2,00	1,957
1,015	0,179	1,19	0,928	1,40	1,262	2,1	2,003
1,02	0,254	1,20	0,948	1,41	1,276	2,2	2,168
1,025	0,313	1,21	0,967	1,42	1,289	2,3	2,272
1,03	0,362	1,22	0,985	1,43	1,302	2,4	2,376
1,035	0,403	1,23	1,003	1,44	1,315	2,5	2,478
1,04	0,440	1,24	1,021	1,45	1,328	2,6	2,581
1,045	0,473	1,25	1,038	1,46	1,341	2,7	2,683
1,05	0,502	1,26	1,055	1,47	1,354	2,8	2,785
1,06	0,534	1,27	1,071	1,48	1,367	2,9	2,886
1,07	0,569	1,28	1,087	1,49	1,379	3,0	2,988
1,08	0,609	1,29	1,103	1,50	1,392	3,5	3,492
1,09	0,675	1,30	1,119	1,55	1,453	4,0	3,995
1,10	0,708	1,31	1,134	1,60	1,513	4,5	4,496
1,11	0,738	1,32	1,149	1,65	1,571	5,0	4,997
1,12	0,766	1,33	1,164	1,70	1,628	6,0	5,998
1,13	0,793	1,34	1,178	1,75	1,685	8,0	7,999
1,14	0,818	1,35	1,193	1,80	1,740	10,0	10,000
1,15	0,842	1,36	1,207	1,85	1,795	∞	∞

Tolkmittsche Tafel zur Berechnung der Senkungskurven.

$\frac{a-z}{a}$	$f\left(\frac{a-z}{a}\right)$	$\frac{a-z}{a}$	$f\left(\frac{a-z}{a}\right)$	$\frac{a-z}{a}$	$f\left(\frac{a-z}{a}\right)$
1,0	∞	0,90	1,103	0,70	0,739
0,995	1,889	0,89	1,075	0,69	0,726
0,990	1,714	0,88	1,049	0,68	0,713
0,985	1,610	0,87	1,025	0,67	0,701
0,980	1,536	0,86	1,002	0,66	0,688
0,975	1,479	0,85	0,980	0,65	0,676
0,970	1,431	0,84	0,950	0,64	0,664
0,965	1,391	0,83	0,940	0,63	0,652
0,960	1,355	0,82	0,922	0,62	0,640
0,955	1,324	0,81	0,904	0,61	0,628
0,950	1,296	0,80	0,887	0,60	0,617
0,945	1,270	0,79	0,870	0,55	0,561
0,940	1,246	0,78	0,854	0,50	0,506
0,935	1,224	0,77	0,838	0,45	0,454
0,930	1,204	0,76	0,823	0,40	0,402
0,925	1,185	0,75	0,808	0,35	0,351
0,920	1,166	0,74	0,794	0,30	0,300
0,915	1,149	0,73	0,780	0,20	0,200
0,910	1,133	0,72	0,766	0,10	0,100
0,905	1,117	0,71	0,752	0,00	0,000

Wo eine Beschleunigung der Wassergeschwindigkeit dadurch stattfindet, daß der Wasserlauf in einen anderen mündet, dessen Spiegel tiefer steht, als sein Beharrungsspiegel (Senkungsstufe in der Sohle, Mündung in eine erweiterte Flußstrecke, Abfall über ein Wehr), bildet sich eine Senkkurve aus. Mit denselben Bezeichnungen wie bei der Staukurve ist:

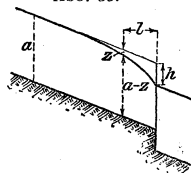
$$l_{(h,z)} = \frac{a}{J} \left[f\left(\frac{a-z}{a}\right) - f\left(\frac{a-h}{a}\right) \right] \left(1 - J \frac{k^2}{g} \right) - \frac{h-z}{J},$$

wobei die Funktion

$$f\left(\frac{a-z}{a}\right) = \frac{1}{4} \ln \left(\frac{2a}{z} - 1 \right) + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{a-z}{a} \right),$$

wenn man parabelförmigen Flußquerschnitt voraussetzt.

Abb. 35.



Wehranlage.

Das Wehrgefälle schwankt gewöhnlich zwischen 1,5 m und 3,0 m, auch mit Rücksicht auf die Bauart der Wehre.

Die Wehranlage muß folgende Anforderungen erfüllen:

Das Hochwasser muß ohne nachteiligen Aufstau abfließen.

Bei geöffnetem Wehr muß der Schiffsdurchlaß auch beim höchsten schiffbaren Wasserstande ohne Gefahr befahrbar sein.

Wegen der Geschiebeabfuhr muß ein Teil des Wehrrückens in Höhe der Flußsohle gelegt werden.

Die beweglichen Teile müssen selbst beim größten Gefälle noch leicht zu bedienen, auch rasch zu beseitigen und wieder aufzustellen sein; sie müssen unempfindlich sein und auch bei mäßigem Frost betriebsfähig bleiben.

Schließlich muß das Wehr so dicht sein, daß es auch bei geringstem Wasserzufluß den Stau halten läßt.

Bauweise. Die Endpfeiler aller Wehre müssen tief ins Ufer einbinden und gegen Hinterspülung gesichert sein (Flügelspundwände). Mittelpfeiler sind zur Verminderung der Stauwirkung so schwach als möglich zu halten und mit scharfen Vorköpfen zu versehen. Der Wehrkörper ist außer bei Felsuntergrund durch kräftige Spundwände vor Unterspülung zu schützen. Unterhalb Sohlensicherung durch schwere Steine, Packwerk, auch hölzerne Sturzböden; Länge nach Gefälle und Bauart. Die Herstellung erfolgt häufig in mehreren Baujahren, um jeweilig nur einen Teil des Wasserlaufes zu sperren.

Feste Wehre allein werden selten, nur in tief eingeschnittenen Flußbetten, angewandt, da sie den Hochwasserstand zu stark heben; öfter in Verbindung mit beweglichen Wehren, wo sie bei schnell steigendem Hochwasser als Sicherheitsauslaß dienen. Der Rücken fester Wehre liegt dicht unter dem Stauspiegel, gewöhnlich senkrecht zum Stromstrich; geradlinig oder in nach unten hohlen Bogen

(Verminderung des Angriffs auf die Ufer). Das Flußbett muß häufig verbreitert werden.

Am meisten angewandt werden **bewegliche Wehre** von solchen Abmessungen, daß bei HW nur ein unbedeutender Aufstau eintritt. Der eine Teil, der Schiffsdurchlaß, wird mit seiner Schwelle in Höhe der seichten Stellen des Fahrwassers gelegt; er erhält eine möglichst große Breite, wenigstens 3 Schiffsbreiten. Der andere, das Flutwehr, wird im Rücken so niedrig gelegt, als es die Bedienung der beweglichen Teile gestattet, gewöhnlich etwa in Höhe des ungestauten Niedrigwasserspiegels; bei kleinen Flüssen wohl der Einfachheit halber in der Höhe des Schiffsdurchlasses.

Abb. 36.
Festes Wehr (Lahn).

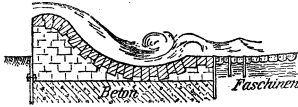


Abb. 37.
Schützenwehr in der Ems bei Herbrum.

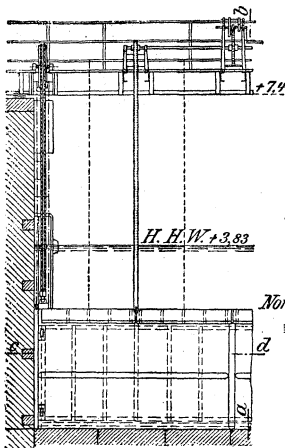
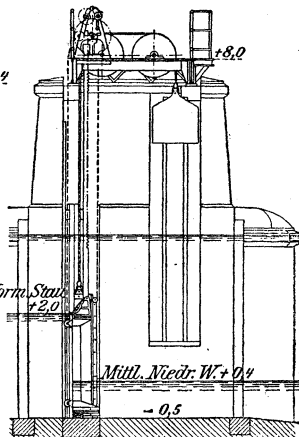
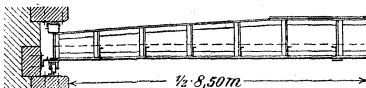


Abb. 38.



Gebräuchliche Arten der beweglichen Wehre sind:

Abb. 39.
Querschnitt c—d.



die Schützenwehre,
die Nadelwehre,
die Wehre mit Schütz- oder Roll-
tafeln vor Nadelwehrböcken,
die Klappenwehre,
die Trommelwehre,
die Walzenwehre,
die Segmentwehre.

Die **Schützenwehre** bestehen aus den Schütztafeln aus Holz oder Eisen, die sich gegen Pfeiler, feste oder bewegliche Griesständer

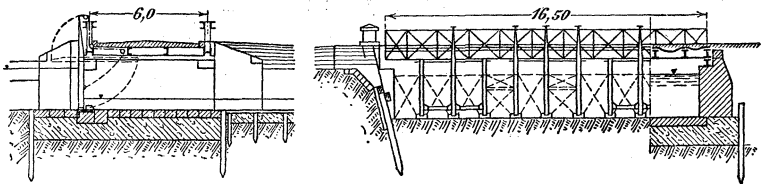
lehnen; die Griesständer stützen sich oben gegen die Wehrbrücke, unten gegen den Wehrrücken. Feste Griesständer hindern Eisgang und Hochwasserabfluß stark, bewegliche verteuern das Wehr sehr. Letztere werden entweder lotrecht gehoben oder um das obere Lager gedreht, selten auf die Wehrsohle niedergelegt.

Schützenwehre haben folgende Vorzüge:

Unempfindlichkeit gegen Stöße und Eis, Zugänglichkeit aller beweglichen Teile, bei geöffnetem Wehr sind keine beweglichen Teile unter Wasser, Ueberströmung der Schütztafeln ist möglich und unschädlich, leichte Regelung des Staues, auch Ueberhöhung des Staues durch Aufsatzbretter, große Dichtigkeit, Verwendbarkeit bei hohen Gefällen (bis über 4 m) und für große Einzelöffnungen, Erhaltung des Staues auch bei Frost und Wiederherstellung auch bei starker Strömung; Benutzung der Arbeitsbrücke für den öffentlichen Verkehr.

Abb. 40.

Schützenwehr der Bocholter Aa mit drehbaren Griesständern.



Nachteile der Schützenwehre sind:

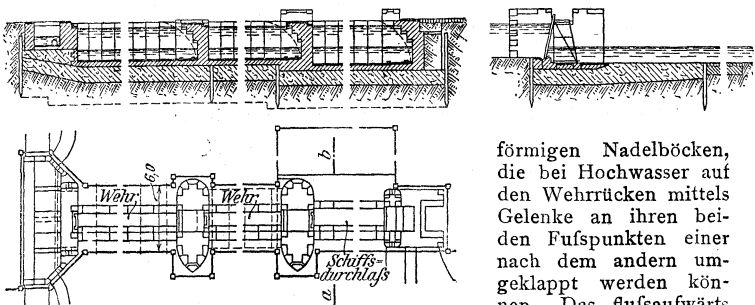
Die Behinderung des Eisganges und des Hochwasserabflusses und die Kostspieligkeit.

Nadelwehre sind die z. Z. am meisten gebräuchlichen beweglichen Wehre für Flufskanalisierungen. Sie bestehen aus einzelnen trapez-

Abb. 41 bis 43.

Nadelwehr bei Konty.

Querschnitt des Schiffsdurchlasses.



förmigen Nadelböcken, die bei Hochwasser auf den Wehrrücken mittels Gelenke an ihren beiden Fußpunkten einer nach dem andern umgeklappt werden können. Das flussaufwärts

befindliche Lager ist zu verankern. Jeder Bock hängt durch Ketten zum Aufrichten und Niederlegen mit dem folgenden zusammen. Auf-

gerichtet tragen die Böcke eine leichte Arbeitsbrücke, die die Böcke in der Richtung quer zum Fluß versteift, und eine Nadellehne. Die Nadeln, aus Holz, selten aus Stahlrohr, vierkantig, rund oder sechskantig, stützen sich oben gegen diese Lehne, unten gegen einen Anschlag im Wehrrücken und haben meist einen Haken, mittels dessen sie ausgehoben, um die Lehne frei schwingen.

Bei größeren Breiten sind Zwischenpfeiler erforderlich, in denen je ein benachbarter Bock beim Niederlegen Platz findet, ebenso wie in einem Endpfeiler.

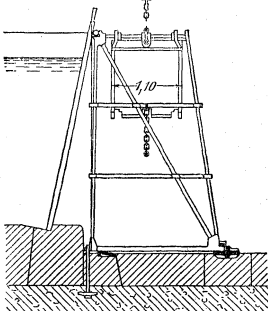
Ihre Vorzüge bestehen gegenüber den Klappenwehren in ihrer Betriebsicherheit, Einfachheit und Billigkeit. Der Wasserstand ist leicht zu regeln und der Wasserabfluß auf die ganze Flußbreite zu verteilen; auch kann man eine vorübergehende Erhöhung des Stauspiegels leicht vornehmen.

Mängel der Nadelwehre sind:

Der Stau muß bei Frost beseitigt werden.

Das Öffnen und Schließen des Wehres beansprucht viel Zeit; bei plötzlicher Freigabe einer ganzen Öffnung durch Ausschwenken der

Abb. 44 bis 46.
Wehrblock.



Nadellehne
und
Nadelaufhängung

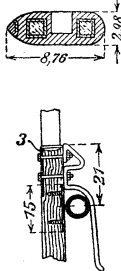
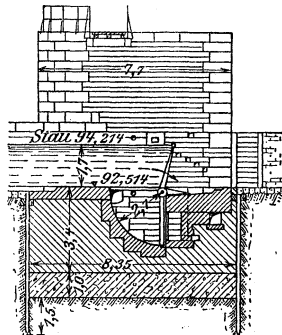


Abb. 47.
Trommelwehr.



Nadellehne (Kummersche Auslösung) ist starke Sohlbefestigung auf lange Strecke nötig.

Die starken langen Nadeln für große Gefälle sind schwer zu handhaben.

Die Dichtigkeit läßt zu wünschen übrig, sofern nicht die Fugen zwischen den Nadeln besonders mit Kohlenasche u. dgl. gedichtet werden.

Die Arbeitsbrücke darf nicht überflutet werden.

Die **Wehre mit Schütz- oder Rolltafeln** vor Nadelwehrböcken vereinigen die meisten Vorzüge beider Wehrarten, sind aber in Deutschland noch nicht angewandt. Ein Nachteil ist, daß sie wenigstens 2 Mann zur Bedienung brauchen. Rolltafeln sind sehr teuer und empfindlich.

Klappenwehre werden am meisten für Schiffsdurchlässe gebraucht. Die Klappen tragen oberhalb des Druckmittelpunktes das Gelenk der Stütze und auf der oberen Klappe meist kleine Hilfsklappen zur Regelung des Staues. Die Klappenwehre sind nicht voll betriebsicher, auch gefährlich zu bedienen.

Trommelwehre werden bei Schiffsdurchlässen und Flossgerinnen angewandt. Sie erfordern tiefe Gründung und sind nur für mäfsige Gefälle anwendbar.

Walzenwehre bestehen aus Blechzylindern — mit oder ohne Ansatzstücke —, die den Verschlusskörper bilden und mit Ketten auf den seitlichen Rollbahnen auf- und niederbewegt werden. An den Stirnenden sind Zahnkränze, die in Zahnstangen auf den Pfeilern eingreifen, zur Geradföhrung angeordnet.

Abb. 48.

Walzenwehr bei Schweinfurt.

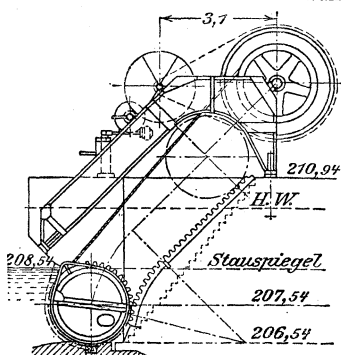
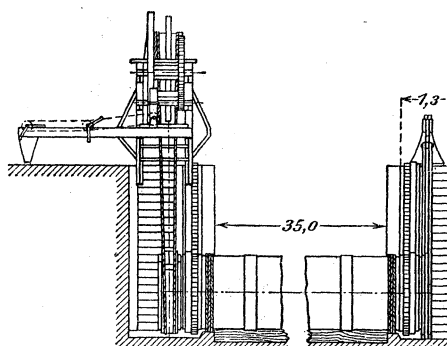


Abb. 49.



Die Vorzüge der Walzenwehre bestehen in der einfachen Bauart, der Möglichkeit, grofse Oeffnungen ohne Zwischenstützen und hohe Gefälle zu überwinden, in der Unempfindlichkeit gegen Eis und dem schnellen Oeffnen und Schliesen bei jedem Wasserstande.

Als Nachteil stehen dem die Kosten entgegen, die höher sind als bei Nadelwehren.

Schleusenanlagen.

Flufsschleusen weichen in einzelnen Punkten von den Kanalschleusen ab.

Da der Wasserverbrauch meist keine Rolle spielt, so werden häufig geböschte Kammerwände und gröfsere Länge der Kammer angeordnet.

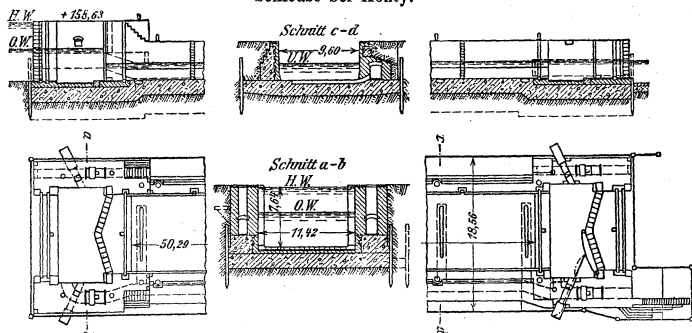
Wegen der wechselnden Wasserstände werden Wände und Tore über den höchsten Wasserstand, bei dem noch geschleust wird, um etwa 0,5 m emporgeföhrt; gänzlich hochwasserfreie Lage ist nicht erforderlich. Der Oberdremmel wird 0,5 bis 1,0 m tiefer, als der höchste schiffbare Wasserstand erfordert, gelegt, um auch bei gesenktem

Oberwasser noch schleusen zu können; der Unterdrempel und der Kammerboden werden mit Rücksicht auf etwaige spätere Vertiefung der Flußstrecke zweckmäßig etwa 0,5 m unter die planmäßige Sohlentiefe gelegt, wodurch auch die Bewegungen der Schiffe in der Schleuse erleichtert werden (betr. der Bauart im einzelnen vgl. Schiffsschleusen S. 571).

Die **Lage der Schleusen** ist entweder dicht neben dem Wehr im Flußbett, wenn hierfür genügende Breite vorhanden ist (z. B. an der Fulda), oder in einem kurzen Seitenkanal, der durch eine Erdzunge vom Wehr getrennt ist (z. B. an der Oder).

Zwischen dem Wehr und der Schleuse ist ein Trennungsdamm oder ein Leitwerk zum Schutze der einfahrenden Schiffe zu errichten. Erwünscht sind Schleusenkanäle von solcher Länge, daß etwa 4 Schiffe liegen können; an die Schleusen sollen sich gerade Strecken von 100

Abb. 50 bis 53.
Schleuse bei Konty.



bis 200 m Länge anschließen; bei der Ausmündung ist auf die Versandungsgefahr besonders zu achten. Auch ist auf die Anlage von Schleppzugschleusen und zweiten Schleusen Rücksicht zu nehmen.

Die Schleusen können auch am unteren Ende von längeren Schleusenkanälen angelegt werden, um Stromschnellen und Krümmungen zu umgehen. Das Wehr liegt dann kurz unterhalb der oberen Abzweigung des Schleusenkanals und erhält ein dem Flußgefälle entsprechend geringeres Gefälle als die Schleuse.

Solche Schleusenkanäle bilden den Uebergang zu eigentlichen **Seitenkanälen**. Diese werden angeordnet zur Umgehung von Schifffahrthindernissen, zur Abkürzung des Schiffahrtweges bei stark Geschiebe führenden Flüssen und bei Flüssen mit sehr starkem Gefälle, mit wenig Wasser, niedrigen Uferländereien und zur Umgehung von See- und Flußstrecken, die für Binnenschiffe zu gefährlich zu befahren sind. Nebenbei dienen sie häufig noch der Hochwasserabführung, wofür bei größerer Wassermenge besondere Freiarchen anzulegen sind. Oberhaupt und Tore sind hochwasserfrei zu legen und durch Dämme ans hohe Land anzuschließen; auch sind Dämme längs des Kanals nötig.

Flußhäfen.*)

Es sind Handelshäfen und Schutzhäfen zu unterscheiden; außerdem Flosshäfen.

Flußhäfen müssen Schutz vor Eisgang und kräftiger Strömung gewähren und die nötige Tiefe und bequemen Zugang vom Fluß haben; Handelshäfen müssen außerdem dem Verkehrsbedürfnis genügen und Vorkehrungen zum Güterumschlag erhalten.

Hafendämme hochwasserfrei; Böschungsneigung außen 2- bis 3-fach, innen 1- bis 2-fach. Befestigung je nach Stromangriff,

Abb. 54.
Hafen Frankfurt a. M.

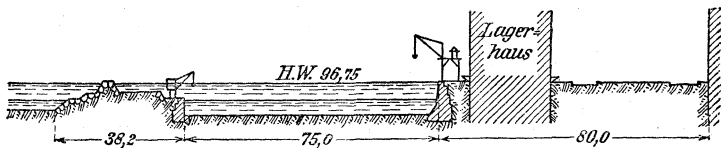
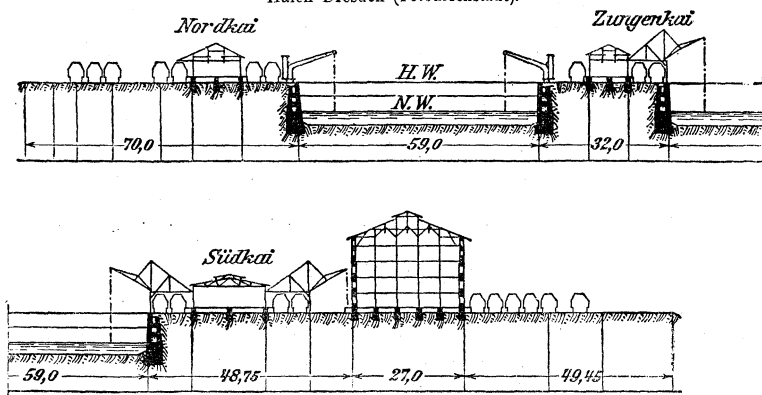


Abb. 55.
Hafen Dresden (Friedrichstadt).

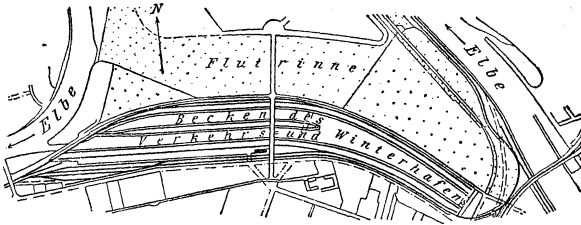


Kopf meist gepflastert, zuweilen mit Bohlwerk versehen, um die nutzbare Breite der Hafeneinfahrt zu vergrößern. Einfahrt stromab gerichtet, nur bei Flosshäfen stromauf; meist am unteren Ende, zuweilen in der Mitte; bei Flosshäfen stets am oberen Ende, außerdem

*) Kanalisierung des Mains und die Hafenanlagen bei Frankfurt. Wochenbl. f. Baukunde 1886. — Weichselhäfen bei Brahemünde, Garbe, Z. f. B. 1888. — Die Breslauer Hafenanlage, Scheck, Z. d. B. 1897. — Werft- und Uferbauten der neuen Hafenanlage zu Köln, Krecke, Zeitschr. f. Arch. u. Ing. 1898. — Kanalis. d. Oder, Mohr, Z. f. B. 1896. — Der neue Hafen bei Straßburg, Ehlers, Z. d. B. 1891. — Der Bau des neuen Verkehrs- und Winterhafens in Dresden, Grosch, Zeitschr. f. Arch. u. Ing. 1897. — Rheinhafnen bei Mannheim, Z. d. V. d. I. 1897.

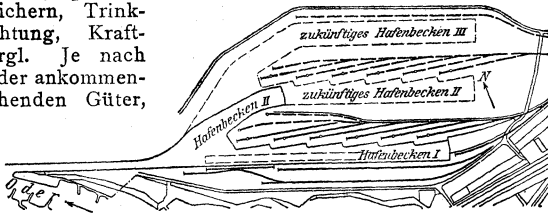
zuweilen eine Ausfahrt am unteren Ende. Geringstes Maß der Einfahrtbreite ist 4-fache Schiffbreite. Obere Hafenausfahrten mit Schleuse kommen zuweilen vor. Lage der Einfahrt am besten am einbuchtenden Ufer, wo die Tiefe am größten. Gestalt gewöhnlich durch die Geländeverhältnisse gegeben, sonst am besten kanalartig, bei größeren Anlagen mit mehreren Becken nebeneinander, die durch „Zungen“ getrennt sind. Schutzhäfen (Winterhäfen) am besten so, daß die Fahrzeuge mit dem Steven zum Ufer gerichtet liegen können; außerdem noch Raum zum Ein- und Ausfahren; sonst Größe nach Bedarf. Wassertiefe für Handelshäfen so, daß bei niedrigstem Wasserstande voll beladene Fahrzeuge im Hafen verkehren können; wegen Auf-

Abb. 56.
Hafen Dresden (Friedrichstadt).



höhung der Sohle bei Neuanlage Uebertiefe. Manchmal volle Tiefe nur vor den Kaimauern. Uferbefestigung bei Schutzhäfen mit Rasen, bei Handelshäfen, je nach Art des Verkehrs, mit Pflaster, Bohlwerk, Ufermauern und Ausstattung mit Festmachervorrichtungen, Treppen, Rampen, Ladestraßen, Gleisen, Kranen, Rutschen, Versturzvorrichtungen, Lagerplätzen, Schuppen, Speichern, Trinkwasser, Beleuchtung, Kraftleitungen u. dgl. Je nach Menge und Art der ankommenden und abgehenden Güter, ihrer Beförderung auf dem Lande, ihrer Lagerung am Hafen usf. sind die Anforderungen sehr verschieden. (Vrgl. Kanalhäfen.)

Abb. 57.
Hafen Kosel.



Für die Bemessung der Größe von Handelshäfen ist der jährliche Güterumsatz zu ermitteln, der den Wasserweg benutzt; ferner die Art der Verteilung des Verkehrs auf das Jahr und die Dauer der Schifffahrt. Nach der Art des Umschlags richtet sich die Lösch- und Ladezeit. Hiernach kann die Zahl der Schiffe und die Uferlänge geschätzt werden. Auf Erweiterungsfähigkeit ist Bedacht zu nehmen. Häufig

werden besondere Hafenbahnhöfe nötig für die Verschubarbeiten. Gleichartiger Verkehr wird in einzelne Becken zusammengelegt; Petroleum erhält besondere Hafenbecken, ebenso bei größeren Anlagen Kaufmannsgut. Auch Zollhäfen werden abgetrennt.

Die Höhenlage richtet sich nach den Wasserstandverhältnissen des Flusses; außerdem spricht die Unterbringung des Bodens aus dem Hafen mit. Rohstoffe, wie Steine, Erze, Kohlen, brauchen nicht völlig hochwasserfrei zu lagern; 0,5 m über dem höchsten schiffbaren Wasserstand genügen. Schuppen und Speicher müssen hochwasserfrei liegen. Tiefladekais sind für den Verkehr bequem und billig. Wenn der Wasserstand wenig wechselt, wie bei kanalisierten Flüssen, sind 2,0 m über dem gewöhnlichen Wasserstande angemessen. Breite der Becken mindestens 4 Kahnbreiten in der Sohle, bei längeren Becken mindestens 5; mehr erwünscht. Wendeplätze oder Spitzkehren (vgl. auch Kanalhäfen S. 575).

Flöfserei.

Entweder werden die Hölzer in einzelnen Stücken vom Wasser talwärts geführt (Triften) und am Bestimmungsort mittels Triftrechen aufgefangen, oder es werden zusammenhängende Flöße gebunden und von der Bemannung, auch wohl mit Hilfe eines Dampfers zu Tal geführt. Mitunter erhalten Flöße auch noch Auflast von nicht schwimmfähigem Holz u. dgl. Zum Steuern dienen Streichruder an beiden Enden, zum Bremsen und Festlegen meist Schrickpfähle, die in dem Fluß in den Grund getrieben werden, daneben auch Tauen und Anker. Bretterflöße brauchen mindestens 0,25 m Tiefe, 0,6 bis 0,9 m ist die zweckmäßigste Tiefe für Balken- und Stammflöße.

Stauwerke werden durch Flossgassen umgangen, die entweder stets offen sind und dann viel Wasser verbrauchen oder mit Fächer-, Segment- oder Schützenverschlüssen versehen sind. Die Flossgassen erhalten Gefälle von 4 vH bis 1 vH. Auch lange Kammerschleusen werden für die Flöfserei nutzbar gemacht.

II. KANALBAU.*)

Binnenschiffahrtskanäle.

Binnenschiffahrtskanäle dienen aufser der Binnenschifffahrt vielfach auch der Flöfserei, der Ent- und der Bewässerung. Hiernach richtet sich Gefälle, Spiegelhöhe und Querschnitt. Dem Gelände nach sind zu unterscheiden: Niederungskanäle mit geringen Höhenunterschieden, Seitenkanäle in der Talsohle neben dem Wasserlauf und Scheitelkanäle, die eine Wasserscheide überschreiten.

*) H. d. J. 1906, Bd. 5. — H. d. B. 1890, III. 2. Wasserbau. — Tolkmitt, Grundlagen der Wasserbaukunst. 2. Auflage. Herausgegeben von J. F. Bubendey. 1907. Berlin. Wilhelm Ernst u. Sohn.

Betriebsarten der Binnenschifffahrt. Es kommen vor als Fortbewegungsarten: das Schieben mit Stangen, das Segeln, das Treideln vom Ufer mit Menschen, Pferden oder Lokomotiven, das Schleppen durch Schleppboote (betrieben mit Dampf, Sauggas, Petroleum u. dgl., Akkumulatoren, elektr. Kraftentnahme vom Ufer) oder Dampfkähne und der Frachtdampferverkehr. Die Tauerei (Kettenschifffahrt) wird nur vereinzelt (in Tunnelstrecken) angewendet, ebenso Treibseilbetrieb. Fahrzeuge entweder einzeln oder in Schleppzüge vereinigt.

Schiffswiderstand in Kanälen und Flüssen.

(Vergl. I, S. 323 u. f.)

Bezeichnet

W den Widerstand eines Schiffes im unbegrenzten Wasser in kg,

W_e dsgl. im engen Wasserquerschnitt,

F den benetzten Kanalquerschnitt in qm,

f den größten eingetauchten Schiffsquerschnitt in qm,

$$n = \frac{F}{f},$$

v die Geschwindigkeit des Schiffes in m/sk,

v_1 die Geschwindigkeit der Rückströmung infolge der Schiffsbewegung in m/sk,

v_2 die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Fluß ohne Rücksicht auf die Schiffsbewegung in m/sk,

s die Einsenkungstiefe des Schiffes in m,

f_s den Einsenkungsquerschnitt in qm,

ψ die Widerstandsziffer (Erfahrungszahl),

γ das Gewicht von 1 cbm Wasser = 1000 kg,

g die Erdbeschleunigung = 9,81 m/sk,

δ den Völligkeitsgrad des Schiffes (Verhältnis der Wasserverdrängung zu dem dem Schiff umschriebenen Prisma),

so ist:

A. in sehr weiten Querschnitten, etwa für $n > 10$

$$W = \psi f (v \pm v_2)^{2,25}$$

+ gilt für die Bergfahrt, — für die Talfahrt;

B. in begrenzten Querschnitten, bei ruhendem Wasser, wo die Rückströmung des vom Schiff verdrängten Wassers

$$v_1 = \frac{f + f_s}{F - (f + f_s)} \cdot v = \frac{1 + f_s : f}{n - (1 + f_s : f)} \cdot v$$

ist, und bei fließendem Wasser, wo

$$v_1' = v_1 \pm \frac{n v_2}{n - (1 + f_s : f)} = \frac{(1 + f_s : f) v \pm n v_2}{n - (1 + f_s : f)}$$

ist,

$$W_e = \psi f (v)^{2,25} \left(\frac{(1 + f_s : f) \pm n v_2 : v}{n - (1 + f_s : f)} \right)^{2,25}.$$

f_s ist aus der Einsenkungstiefe s zu berechnen, die entweder beobachtet oder aus der Gleichung (s. Z. d. B. 1905, Thiele):

$$s = \frac{(v + v_1)^2 - v^2}{2g}$$

bestimmt wird.

Am Dortmund-Ems-Kanal hat sich für die dort untersuchten Schiffe ergeben

$$We = \psi f \left(\frac{n}{n - (1 + 0,15 \cdot v^2)} \right)^{2,25} v^{2,25}.$$

ψ ist abhängig von der Querschnittsgestalt des Kanals; je tiefer dieser bei gleicher Fläche ist, um so kleiner wird der Widerstand.

ψ ist ferner abhängig von der Tauchtiefe oder vom Spielraum zwischen dem Schiffboden und der Kanalsohle.

Bezeichnet ψ die für einen gegebenen Spielraum d bekannte Widerstandszahl bei mittlerer Tauchtiefe, so ist für einen anderen Spielraum d_1 die Widerstandszahl

$$\psi_1 = 0,95 \psi \frac{d}{d_1}.$$

Für Schleppkähne des Dortmund-Ems-Kanals hat sich ergeben

$$\psi = 12,5 \text{ bis } 13,1 \text{ kg,}$$

für einen Dampfkahn

$$\psi = 9 \text{ kg.}$$

Für gut gebaute Flusdampfer ist $\psi = 8$ bis 10 kg

„ „ „ Flufs- und Kanalkähne ist $\psi = 11$ „ 14 „

„ gewöhnliche Elbkähne ist $\psi = 18$ „ 20 „

„ Zillen u. dgl. ist $\psi = 20$ „ 25 „

Für Kähne verschiedenen Völligkeitsgrades kann gesetzt werden

$$We = \psi f \left(\frac{n}{n - (1 + 0,2 \delta^2 \cdot v^2)} \right)^{2,25} v^{2,25}.$$

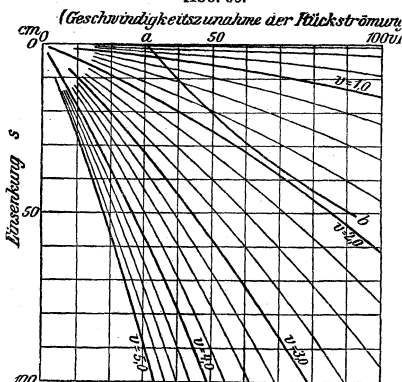
Der Völligkeitsgrad δ ist ein Maß für die Ausnutzung der Abmessungen des Schiffes;

$$\delta \text{ ist } = 0,75 \text{ bis } 0,90,$$

großes δ bei Kanalkähnen. Hierbei größerer Widerstand und geringere Steuerfähigkeit als bei Flusskähnen mit kleinerem δ .

Eigengewicht bei neuen eisernen Kähnen 18 bis 25 vH der Tragfähigkeit.

Abb. 53.



Z. B. Linie a-b für $\frac{v_1}{v} = \frac{f + f_s}{F - (f + f_s)}$ für

einen 1,75 m tief gehenden Kahn des Dortmund-Ems-Kanals in Hundertteilen. Der Schnittpunkt von a-b mit der Geschwindigkeit v gibt die zugehörige Einsenkung s .

Fahrtgeschwindigkeiten.

Rheinschnelldampfer zu Tal	6,5 m/sk = 23,4 km/st
„ „ Berg	4,2 „ = 15,2 „
Gewöhnliche Personendampfer zu Tal	5,5 „ = 19,8 „
„ „ Berg	3,5 „ = 12,6 „
Schleppzüge zu Berg	1,3 bis 1,4 m/sk = 4,8 bis 5 „

Auf dem Dortmund-Ems-Kanal ist zulässig

bei 1,75 m Tiefgang 1,4 m/sk = 5 km/st

„ 2,0 „ „ 1,1 „ = 4 „

Auf kleinen Kanälen bei Treidelbetrieb (oder Schieben mit Stangen)

durch Menschenkraft $v = 0,3$ bis $0,4$ m/sk

durch Pferde $v = 0,5$ „ $0,75$ „

Der Widerstand von Schleppzügen ist im allgemeinen etwa der Summe der Widerstände der Einzelfahrzeuge gleich; bei kurzer Kuppelung und in gerader Fahrt wohl etwas geringer, in Krümmungen aber etwas größer. Beim Schleppen vom Ufer ist der Widerstand etwa 10 vH geringer als mit Schleppdampfer.

Vorarbeiten.

Die **wirtschaftlichen Vorarbeiten** haben sich auf den bestehenden Gesamtgüterverkehr und den dem Kanal voraussichtlich zufallenden Anteil davon sowie auf den vom Kanal erweckten Verkehr zu erstrecken (vgl. Sympher, Wasserwirtschaftl. Vorarbeiten).

Die Gesamtschiffahrtkosten setzen sich aus den eigentlichen Schiffahrtkosten (Verzinsung, Unterhaltung und Abschreibung der Schiffe, Betriebskosten, wie Löhne, Kohlen, Schmiermittel u. dgl.), den Nebenkosten (Hafen- und Versicherungsgebühren, Kosten für Löschen und Laden, Umladen u. dgl.) und den Abgaben (zur Unterhaltung des Kanals, zur Verzinsung und Abschreibung des Anlagekapitals u. dgl.) zusammen. Die eigentlichen Schiffahrtkosten sind teils Liegekosten, die jederzeit entstehen, teils Streckenkosten, die nur durch die Fahrt entstehen. Zu unterscheiden sind Fluß- und Kanalschiffahrtkosten. Die Kosten werden auf Tarifikilometer bezogen, wobei den wirklich durchfahrenen Kanallängen für die Aufenthalte an Schleusen usw. eine entsprechende Strecke zuzurechnen ist, z. B. bei 5 km/st Fahrtgeschwindigkeit nach Sympher

Art der Schleuse	Schiffahrtbetrieb	Aufenthalt min	Streckenzuschlag km
Einzel Schleuse	Einzel schiff	30	2,5
„	Schleppzug aus 2 Lastschiffen und 1 Dampfer	95	8
„	Schleppzug aus 2 Lastschiffen	72	6
Schleppzugschleuse	1 Schleppzug	43	4

Die Abgaben werden nach wirklichen Kanalkilometern, Schleusungen u. dgl. berechnet; die Kosten sind von der Betriebsart (Tagbetrieb, Tag- und Nachtbetrieb), der jährlichen Betriebszeit,

im Rhein-Elbe-Gebiet 10 Monate = 270 Betriebstage

Oder-Gebiet 9 „ = 250 „

Weichsel-Gebiet $8\frac{1}{2}$ „ = 230 „

und der Schiffsgröße abhängig.

Für grobe Massengüter beispielsweise, unter der Voraussetzung, daß Schiffzüge von 1 Schleppdampfer und 2 Lastkähnen mit voller Ladung in einer Richtung, $\frac{1}{5}$ Ladung für die Rückfahrt verkehren, bei 5 km/st Fahrtgeschwindigkeit auf freier Strecke ohne Kreuzungen, bei 100 km bzw. 60 km Tagesleistung bei 24-stündiger bzw. 13-stündiger Arbeitszeit ergeben sich (nach Sympher, Wasserwirtschaftliche Vorarbeiten, 1901) folgende Schifffahrtkosten (ohne Nebenkosten und Abgaben):

Anzahl der Betriebstage	Durchschnittl. Schifffahrtkosten für 1 Tarif-Tonnenkilometer bei Schiffen mit einer Tragfähigkeit von				
	150 t	200 t	300 t	400 t	600 t
	in Pfennigen				
1. 270 Tage:					
a) Tag- und Nachtbetrieb	$\frac{150}{n} + 0,79$	$\frac{125}{n} + 0,63$	$\frac{100}{n} + 0,48$	$\frac{90}{n} + 0,41$	$\frac{90}{n} + 0,30$
b) Tagbetrieb	$\frac{105}{n} + 0,77$	$\frac{90}{n} + 0,62$	$\frac{70}{n} + 0,47$	$\frac{70}{n} + 0,40$	$\frac{70}{n} + 0,33$
2. 250 Tage:					
a) Tag- und Nachtbetrieb	$\frac{160}{n} + 0,84$	$\frac{135}{n} + 0,67$	$\frac{110}{n} + 0,49$	$\frac{100}{n} + 0,42$	$\frac{90}{n} + 0,33$
b) Tagbetrieb	$\frac{115}{n} + 0,79$	$\frac{95}{n} + 0,66$	$\frac{75}{n} + 0,51$	$\frac{75}{n} + 0,44$	$\frac{75}{n} + 0,37$
3. 230 Tage:					
a) Tag- und Nachtbetrieb	$\frac{180}{n} + 0,87$	$\frac{150}{n} + 0,69$	$\frac{120}{n} + 0,53$	$\frac{105}{n} + 0,46$	$\frac{95}{n} + 0,37$
b) Tagbetrieb	$\frac{130}{n} + 0,86$	$\frac{105}{n} + 0,71$	$\frac{80}{n} + 0,53$	$\frac{80}{n} + 0,47$	$\frac{80}{n} + 0,39$

n = Anzahl der auf der Fahrt zurückgelegten Tarifkilometer.

Die Nebenkosten sind nach folgenden Durchschnittssätzen anzunehmen:

Hafengebühren 2×15 Pf/t	30 Pf/t
Umladen von der Eisenbahn ins Schiff	10 „
„ vom Schiff in die Eisenbahn bei großen Mengen größter Güter mit oder ohne besondere Vorrichtungen	22—40 „
„ bei kleinen Mengen besserer Güter	100 „

Versicherungsgebühr durchschnittlich 5 vT des Wertes.

Die Abgaben müssen die Verzinsung, Unterhaltung und Abschreibung des Anlagekapitals decken und sind je nach dem Werte der Waren abzustufen.

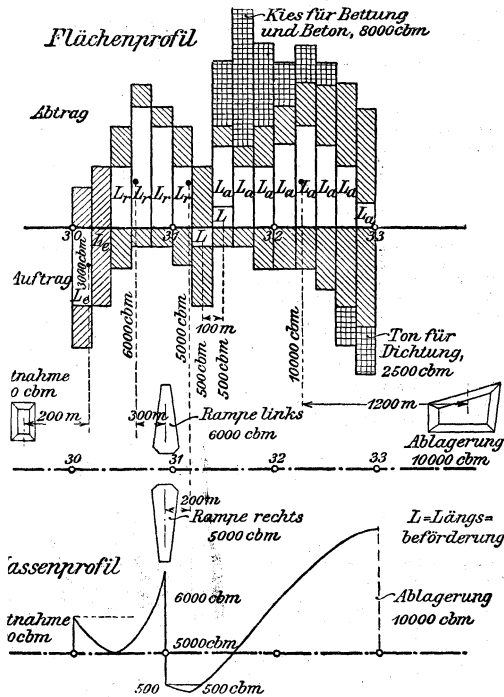
Symphor schlägt folgende Abgabe vor:

	für 600 t-Schiffe	für 400 t-Schiffe
Güterklasse A (Stückgüter)	2,00 Pf/tkm,	1,20—1,6 Pf/tkm
I	1,00	0,60—0,8
II	0,75	0,45—0,6
III	0,50	0,3
B (Ausnahmetarif)	0,25	0,15

Hiernach ist zu berechnen, welche Güter voraussichtlich auf den Kanal übergehen werden.

Die **technischen Vorarbeiten** (vgl. Oppermann, Vorarbeiten für Schiffahrtskanäle, Leipzig 1895) bezwecken, auf Grund von genügend

Abb. 59.



allgemeinen die gleichen wie bei Eisenbahnbauten, ebenso die Ausführung der technischen Vorarbeiten.

Das Flächenprofil (vgl. Abschn. Eisenbahnwesen) wird in der Weise durchgebildet, dass der Flächeninhalt des Querschnitts, soweit Abtrag

nach oben, soweit Auftrag nach unten, im Maßstab 1 qm = 1 mm von einer mit der Stationierung versehenen Geraden aufgetragen wird. Die Begrenzung der Flächen wird durch abgetreppte Linien gebildet. Von den die Abtragsmassen darstellenden Flächen werden von der oberen Grenzlinie aus die zur Verwendung ungeeigneten Bodenmassen nach der Achse zu abgesetzt, sodann anschließend nach unten die für besondere Zwecke zu verwendenden Massen (Ton für Dichtungen, Kies für Bettungen). Von der unteren Begrenzung der Auftragsmassen nach oben zu werden die Massen der für besondere Zwecke erforderlichen Bodensorten aufgetragen. Die so verbliebene Auftragsmasse wird mit der verbliebenen Abtragsmasse verglichen und ergibt den durch Längsbeförderung von anderer Stelle her auszugleichenden Fehlbetrag oder Ueberschufs, bezw. Seitenentnahme oder Seitenablagerung (s. Abb. 59).

Für den Voranschlag sind die Beträge für die einzelnen Arbeiten etwa nach folgendem **Kostenüberschlag** zu berechnen:

1. Grunderwerb.

- A. Ankauf der Grundstücke,
- B. Wirtschafterschwernisse,
- C. Entschädigung für Nebenberechtigte,
- D. Entschädigung für abzubrechende Gebäude u. dgl.,
- E. Pacht für vorübergehende Benutzung,
- F. Kosten der Leitung und Regelung des Grunderwerbs,
- G. Unvorhergesehenes.

2. Erd- und Böschungsarbeiten.

- A. Gangbarmachung und Rodungsarbeiten,
- B. Gewinnung, Laden, Fortschaffen, Verbauen der Bodenmassen, einschließlich Trockenhaltung der Arbeitsstelle,
- C. Abgleichung der Böschung und Bekleidung mit Rasen,
- D. Befestigung der Böschungen mit Pflaster, Futtermauern usw.,
- E. Dichtungsarbeiten und Sohlbefestigung,
- F. Unvorhergesehenes.

3. Bauwerke.

- A. Schleusen und Wehre,
- B. Seitenentwässerung in Wegen und Rampen,
- C. Brücken von Wegen, Eisenbahnen und Wasserzügen über den Kanal,
- D. Ueberführungen des Kanals über Wege, Eisenbahnen und Wasserzüge,
- E. Kanaltunnel,
- F. Einlässe,
- G. Entlastungsvorrichtungen und Auslässe, soweit diese nicht mit Durchlässen und Düken verbunden sind,
- H. Sicherheitstore,
- I. Unvorhergesehenes.

4. Nebenanlagen.

- A. Befestigung der Leinpfade, Anlagen für den mechanischen Schiffszug,
- B. Verlegung von Wegen einschließlich Befestigung,
- C. " " Eisenbahnen,
- D. " " Wasserzügen,
- E. Einfriedigungen.

5. Anlagen für die Verwaltung und den Betrieb.

- A. Gebäude für die allgemeine und örtliche Verwaltung,
- B. Gehöfte für Schleusenmeister, Hafenmeister, Bauwarte, Strommeister, Brückenwärter usw.,
- C. Bahnhöfe,
- D. Kanalhäfen, soweit sie nicht von den Beteiligten hergestellt werden, sowie Beihülfen an solche,
- E. Telegraphen- und Fernsprecheinrichtungen,
- F. Sonstige für die Verwaltung und den Betrieb erforderliche Anlagen.

6. Speisungsanlagen.

- A. Grunderwerb,
- B. Erd- und Böschungsarbeiten,
- C. Bauwerke und Maschinenanlagen,
- D. Nebenanlagen (Wege- usw. Verlegungen und Neuanlagen, Einfriedigungen, Betriebsgebäude, Telegraphen- und Fernsprecheinrichtungen),
- E. Kosten des Wassers und der Entschädigungen für Wasserentziehung,
- F. Sonstiges.

7. Allgemeine Kosten.

Untersuchung der Baustoffe, Beschaffung der wissenschaftlichen und technischen Hilfsmittel, Baugeräte, Fahrzeuge u. dgl.

8. Unterhaltung während der Bauzeit.

9. Arbeiterschutz aufwendungen.

10. Bauleitung und Verwaltung.

- A. Bezüge der Beamten und Angestellten,
- B. Beschaffung von Geschäftsräumen und deren Ausrüstung,
- C. Kosten der Vorarbeiten.

11. Insgesamt.

Ausführung von Abweichungen vom ursprünglichen Entwurf; Preissteigerungen; Bekämpfung und Beseitigung der durch Naturereignisse herbeigeführten Beschädigungen; Kosten der Rechtsstreite (außer denen beim Grunderwerb); Kosten besonderer Festlichkeiten; Unvorhergesehenes.

Wasserbedarf von Kanälen.*)

Wasserverluste entstehen teils durch Verdunstung und Versickerung, teils durch Undichtigkeit an den Schleusen; der letztere Verlust gilt nur für die Scheithaltung, er kommt den unteren Haltungen als Speisung zugute. Zu den Wasserverlusten kommt der **Wasserverbrauch** der Schleusen, was zusammen den durch die Speisung zu deckenden **Wasserbedarf** ergibt.

Die Verdunstung während 6 Sommermonate ist im Mittel zu 4 mm täglich anzunehmen, oder jährlich zu 720 mm; in Holland werden 900 mm geschätzt; an einzelnen heißen Tagen 5 bis 6 mm; am Dortmund-Ems-Kanal bis 7,5 mm beobachtet; für den Ems-Weser-Kanal sind 11 mm im äußersten Fall in Ansatz gebracht. Die Versickerung ist außerordentlich verschieden nach Boden, Dichtung, Höhenlage zum Grundwasser, Breite und Wassertiefe des Kanals; statt der Versickerung kann bei hohem Grundwasserstande auch eine Speisung eintreten. Im Durchschnitt langer Strecken sind beim Dortmund-Ems-Kanal 12 l/sk für 1 km für Verdunstung und Versickerung angenommen, beim Ems-Weser-Kanal rd. 16 l/sk für 1 km für zweischiffige Strecken (entsprechend 45 mm Höhenverlust, wovon 34 mm auf Versickerung gerechnet sind), für einschiffige Strecken sind 12 l/sk gerechnet. An einer gut gedichteten Versuchsstrecke sind 2 bis 5 l/sk für 1 km Gesamtverlust beobachtet worden. An 10 m breiten französischen Kanälen sind bei 1,6 m Wassertiefe 4,6 bis 20,9 l/sk für 1 km beobachtet; bei 2,0 m Wassertiefe 11,6 bis 20 l/sk und km. Die Versickerung ist in den ersten Jahren des Kanalbetriebes, namentlich nach der ersten Füllung wesentlich größer als später; am Rhein-Marne-Kanal haben

*) Zeitschr. f. Binnenschiff. 1901 S. 234. — Z. d. B. 1904 S. 170 u. 244. — Z. f. B. 1901 S. 439. — Z. d. B. 1909 S. 122.

sie nach dem Einlassen des Wassers das 2- bis 3fache, während der ersten Monate etwa das 1,5fache der späteren dauernden betragen.

Die Undichtigkeiten der Schleusen hängen wesentlich von der Bauart der Tore und Umläufe ab. Für den Ems-Weser-Kanal sind $5 \frac{1}{8}$ für 1 m Schleusengefälle gerechnet. Durch Heber statt der Umläufe von der Schleusenkammer nach dem Ober- und Unterwasser, Hubtore usw. statt der meist gebräuchlichen Stemmtore lassen sich die Verluste an Schleusen herabsetzen.

Wasserverbrauch durch Schleusungen. Bezeichnet

- M den Inhalt einer Schleusenfüllung ohne Schiff in cbm,
- m die Anzahl der täglich verkehrenden Schiffe,
- n die Anzahl der täglichen Schleusungen,
- b die Wasserverdrängung eines bergwärts fahrenden Schiffes in cbm,
- t die eines talwärts fahrenden in cbm,
- V den Wasserverbrauch einer Schleusung in cbm,
- W den täglichen Wasserverbrauch einer Schleuse,

so ist bei einer Einzelschleusung zu Berg $V = M + b$, zu Tal $V = M - t$; bei einer Kreuzung an der Schleuse (Wechselschleusung) ist $V = M + b - t$; wenn bei gleicher Schiffzahl in beiden Richtungen von $\frac{1}{2}m$ bei mittleren Verkehrsverhältnissen die Hälfte der Schiffe bei den Schleusen, die andere Hälfte in den Haltungen kreuzt, ist der tägliche Verbrauch

$$W = \frac{3}{4} m \cdot M + \frac{1}{2} m (b - t).$$

Der Wasserverbrauch ist für die oberste Schleuse und für die Schleuse mit dem größten Gefälle zu berechnen. Betr. Wasserverbrauch bei Verwendung von Sparbecken vgl. Schiffschleusen S. 580.

Der Gesamtinhalt H einer Kanalhaltung zwischen zwei Schleusen mit den Verbrauchsmengen V_o und V_u setzt sich zusammen aus dem Wasserinhalt und dem Inhalt der darauf schwimmenden Schiffe. Durch den Betrieb der Schifffahrt ändert er sich um

$$\Delta H = \Sigma (V_o - V_u) + \frac{1}{\gamma} \Sigma (Q_e - Q_a),$$

wo Q_e die in der Haltung eingeladenen Gewichtsmengen in kg und Q_a die ausgeladenen Gewichtsmengen in kg, γ das Gewicht von 1 cbm Wasser = 1000 kg bedeutet.

Hieraus berechnen sich die Schwankungen des Wasserspiegels.

Zu dem Wasserbedarf des Kanals tritt unter Umständen noch der Verlust in dem Speisegraben und dem Speisebecken.

Speisung der Kanäle. Die Speisungsanlagen haben den Wasserverbrauch zur Zeit des größten Bedarfs zu decken und müssen auch den Verbrauchsschwankungen Rechnung tragen. Die Entnahme des Wassers erfolgt entweder aus dem Grundwasser der unmittelbaren Umgebung oder aus natürlichen Wasserläufen durch Einleitung oder durch Hebung aus tieferen Lagen oder aus Seen und künstlichen Speisebecken. Die Hebung mittels Dampfkraft ist nur ausnahmsweise

zuweilen zeitweilig angespannt, z. B. beim Rhein-Ems-Kanal um 0,5 m.

Verbreiterung des gewöhnlichen Querschnitts ist in Kurven nötig; das geringste Maß der Verbreiterung ist die doppelte Pfeilhöhe einer Sehne von Schiffslänge. Beim Ems-Weser-Kanal sind folgende Verbreiterungen AB der zweischiffigen Strecken geplant, die 100 m vor Beginn der Krümmung beginnen.

Abb. 63.
Elbe—Trave-Kanal.

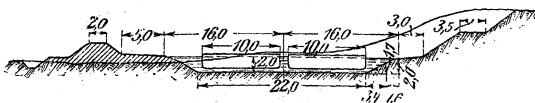


Abb. 64.
Dortmund—Ems-Kanal.

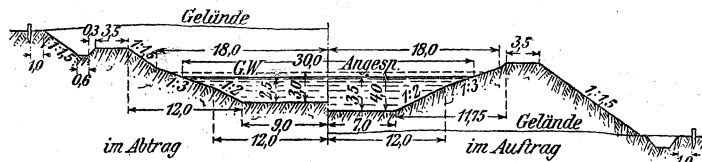


Abb. 65.
Teltow-Kanal.

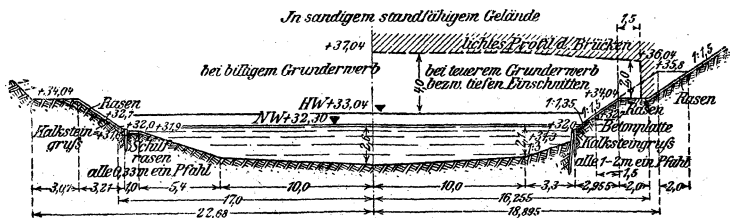
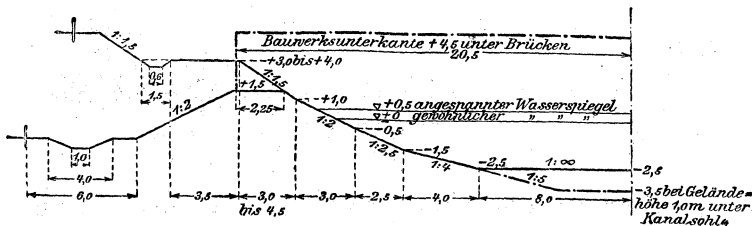


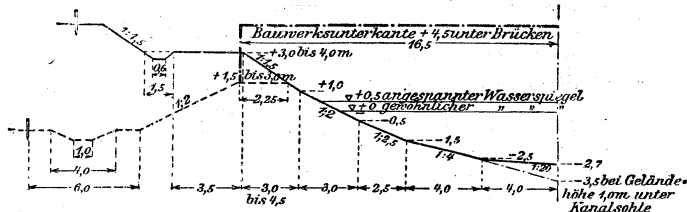
Abb. 66.
Ems—Weser-Kanal (zweischiffig).



Beim Halbmesser	$R \geq 2000$ m	ist $\Delta B = 0$ m
"	$2000 > R \geq 1500$ m	" $\Delta B = 1$ m
"	$1500 > R \geq 1200$ m	" $\Delta B = 2$ m
"	$1200 > R \geq 900$ m	" $\Delta B = 3$ m
"	$900 > R \geq 700$ m	" $\Delta B = 4$ m
"	$700 > R \geq 500$ m	" $\Delta B = 5$ m.

Abb. 67.

Ems—Weser-Kanal (einschiffige Zweigkanäle).



Als kleinster Halbmesser der freien Strecke ist $R = 600$ m, ausnahmsweise $R = 500$ m angenommen. Scharfe Krümmungen mit kleinem Zentriwinkel sind verhältnismäßig unschädlich.

Sonstige Verbreiterungen an Einmündungen von Seitenkanälen, an Warteplätzen, in anbaureifem Gelände, bei Schleusen, oder wo Wechsel der Betriebsart stattfindet und an Wendeplätzen, die in Kreis- oder Dreieckform (Spitzkehren) ausgestaltet werden. Im einzelnen ist der Querschnitt auch von der Betriebsart abhängig.

Abmessungen von neueren ausgeführten und geplanten Kanälen:

1. Der Masurische Kanal (geplant) (Zeitschr. f. Binnenschiff. 1902, 1903, 1904).

Sohlbreite 11 m, Wassertiefe 2,0 m, Tragfähigkeit der Kähne 150 t.

2. Ems-Jade-Kanal (Deutsche Bauztg. 1887).

Sohlbreite 8,50 m, Spiegelbreite 17,5 m, Wassertiefe bei MW 2,0 m, bei MNW 1,50 m; im Gebiet der Küstenfahrt 3,1 m, Schiffsabmessungen höchstens $33 \times 6,2 \times 1,8$ m.

3. Oder-Spree-Kanal (Zeitschr. f. Bauw. 1890).

Sohlbreite 16 m, Spiegelbreite 23,20 m, Wassertiefe 2,0 m, Schiffsabmessungen 55×8 m, Tragfähigkeit bei 1,4 m Tiefgang 400 t, bei 1,5 m 500 t, Schleusenabmessungen $55 \times 8,6 \times 2,5$ m.

4. Teltowkanal (Z. d. V. d. I.).

Sohlbreite 20 m, Spiegelbreite 34 m bei NW, Wassertiefe 2,1 bis 2,6 m, Schiffsabmessungen $67 \times 8 \times 1,75$ m, Tragfähigkeit 600 t, Schleusenabmessungen $67 \times 10 \times 2,50$ m.

5. Elbe-Trave-Kanal (Rheder, Der Bau des Elbe-Trave-Kanals, Zeitschr. f. Binnenschifffahrt 1899; Z. d. V. d. J. 1900).
Sohlbreite 22 m, Wasserspiegelbreite 32 m, Wassertiefe 2,0 m, Schiffsabmessungen $78,5 \times 11,5 \times 1,75$ m, Tragfähigkeit bis 1300 t, Schleusenabmessungen $80 \times 12 \times 2,50$ m, mit Verbreiterung auf 17 m in 58,9 m Länge.
6. Dortmund-Ems-Kanal (Zeitschr. f. Bauw. 1901 S. 38 und 573, 1902 S. 99 und 283).
Sohlbreite 18 m, Wasserspiegelbreite 30 m, Wassertiefe 2,5 m, Schiffsabmessungen $66 \times 8,2 \times 2,0$ m, Tragfähigkeit gewöhnlich bei 1,75 m Tiefgang 600 t, bei 2,0 m Tiefgang bis 1000 t, Schleusenabmessungen $67 \times 3 \times 8,60$ m, Schleppzugschleusen $176 \times 3 \times 10$ m.
7. Rhein-Marne-Kanal. (Zeitschr. f. Bauw. 1882, Z. d. B. 1900).
Sohlbreite 10 m, Wassertiefe bei MNW 2,0 m, bei MW 2,10 m, Schiffsabmessungen $38,5 \times 5 \times 1,8$ m, Tragfähigkeit 300 t, Schleusen $38,5 \times 5,2$ m.
8. Donau-Oder-Kanal (geplant).
Sohlbreite 16 m, Wassertiefe 3,0 m, Schiffsabmessungen $67 \times 8 \times 1,8$ m, Tragfähigkeit 630 t, Schleusenabmessungen $67 \times 9 \times 3$ m.

Erdarbeiten. Wegen der Gefahr der Wasserverluste müssen Dämme stets in voller Breite in Lagen von etwa 0,3 m Stärke geschüttet, fest gerammt, gewalzt oder geritten werden; die besten Bodenarten kommen auf die dem Wasser zugewandte Seite. Unbrauchbarer Boden ist auszusetzen; Humus, Stubben, Drainröhren sind zu entfernen.

Dämme aus Sand setzen sich um 0,05 der Höhe, solche aus Lehm- und Tonboden um 0,1, wenn der Untergrund fest ist; auf Moorboden dagegen bis 0,5. Hier muß man bis auf den festen Untergrund durchschütten und den Moorboden seitwärts verdrängen oder ausheben. Die bleibende Auflockerung s. Abschn. Eisenbahnwesen.

Die **Dichtung des Kanalbettes** erfolgt am besten gleich bei Herstellung des Kanals durch sorgfältige Ausführung der Erdarbeiten,

Abb. 68.

Dichtung des Dortmund-Ems-Kanals.

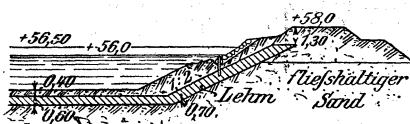
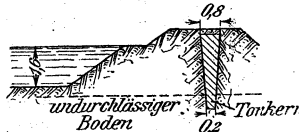


Abb. 69.

Dichtung französischer Kanäle.



durch Einlage einer 0,30 bis 1,00 m starken Schicht, am besten mit Absätzen zur Verhütung von Rutschungen, aus fettem Boden, Lehm, Ton oder drgl. mit Sandüberdeckung, durch Betondecken (nur auf Dämmen, die sich vollständig gesetzt haben und in Einschnitten) 0,10 bis 0,20 m stark mit Sandüberdeckung von 0,20 bis 0,30 m, oder durch Mörtelpflasterung (Stärke etwa 0,20 m). Wenn Dichtung der

Sohle nicht erforderlich, werden schmalere Kerne aus Beton oder Ton in den Seitendämmen angewendet. Nachträgliche Dichtungen werden

Abb. 70.

Uferdeckwerk des Oder-Spree-Kanals.

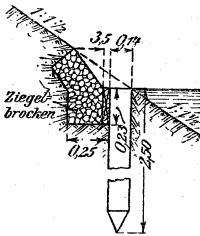


Abb. 71.

Uferdeckwerk des Dortmund-Ems-Kanals.

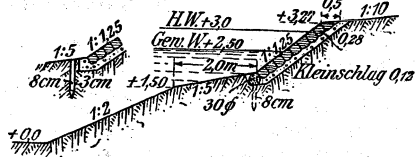


Abb. 72.

Uferdeckwerk des Dortmund-Ems-Kanals.

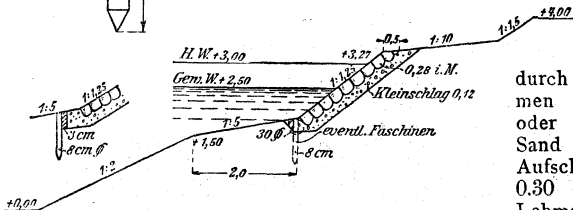
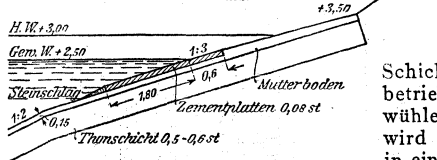


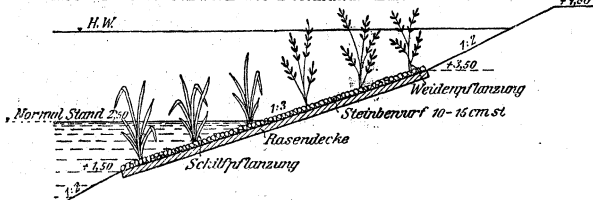
Abb. 73. Uferdeckwerk des Dortmund-Ems-Kanals.



durch Einschlämmen von Lehm oder (bei Felsen) Sand oder durch Aufschütten einer 0.30 m starken Lehmschicht hergebracht. Zur Verhütung von Beschädigungen der eingeschlämmten

Schicht durch den Schiffsverkehr, besonders durch die wühlende Wirkung der Schraube, wird vorgeschlagen, den Lehm in eine Kieslage einzuschlämmen.

Abb. 74. Uferdeckwerk des Dortmund-Ems-Kanals.



Uferbefestigungen. Der Angriff des Wassers durch Strömung und Wellen infolge der Schiffsbewegung reicht bei den gewöhnlichen Fahrgeschwindigkeiten von 1 bis 1,5 m/sk unter den ruhenden Wasserspiegel und 0,5 m darüber; bei geringer Fahrgeschwindigkeit ist er

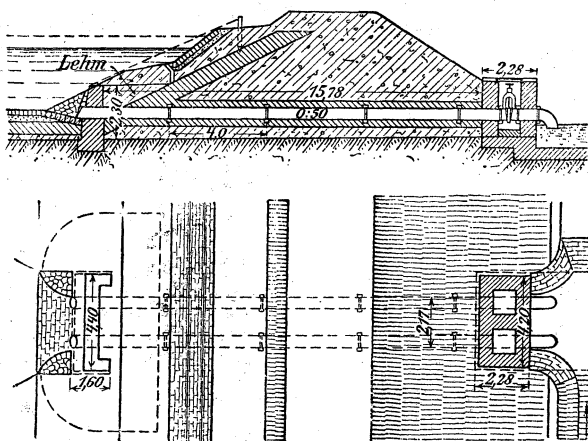
viel geringer. Bepflanzungen mit Rohr und Schilf auf 0,5 bis 5 m breiten Bermen in oder unter der Wasserlinie, darüber Rasen für geringe Angriffe; für stärkere Befestigungen nach vorstehenden Mustern.

Kanalschleusen

(vgl. Schiffsschleusen). Als Zubehör kommen hinzu Vorhäfen, Leitwerke bei den Einfahrten, Befestigung der Ufer und Sohle, besonders am Unterhaupt, Schleusenmeistergehöft mit Geräteschuppen. Lage so, daß Erweiterung durch eine zweite Schleuse oder Verlängerung zu einer Schleppzugschleuse möglich bleibt.

Entlastungsanlagen sind erforderlich, um überschüssiges Wasser abzuführen und um den Kanal trocken legen zu können. Sie werden gewöhnlich bei der Kreuzung des Kanals mit Wasserläufen und wenn

Abb. 75 u. 76.
Entlastung des Dortmund—Ems-Kanals.



möglich in der Nähe von Wärterwohnungen angelegt. Ueberfälle sind wenig wirksam, selbsttätige Heberanlagen oder Grundablässe vorzuziehen. Abmessungen beim Dortmund-Ems-Kanal so, daß die Entleerung von 1 km nicht mehr als drei Stunden erfordert und die Wassergeschwindigkeit nicht über 0,2 m/sk steigt, auch bei stärkstem Zufluß.

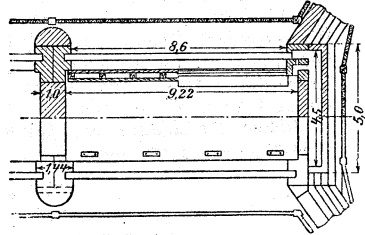
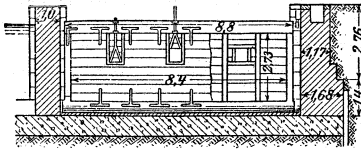
Sperrtore werden in Kanälen mit langen Haltungen zur Senkung des Wasserstandes bei Ausbesserungsarbeiten angewendet, ferner vor den Enden hoher Dammstrecken, an Schiffhebewerken u. dgl. und beim Anschluß an Seen, Stauweihern u. dgl. zur Sicherung gegen große Wasserentleerung bei Dammbrüchen.

Abb. 77 bis 79.

Sperrtor des Oder—Spree-Kanals.

(Ansicht)

(Grundriß)



(Querschnitt)

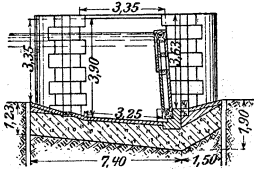


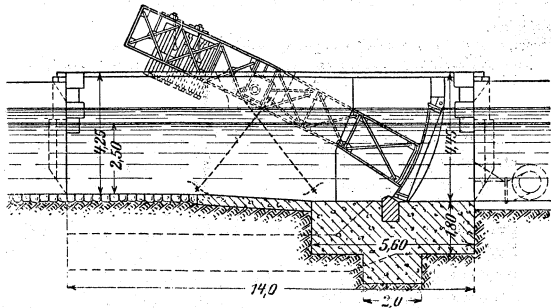
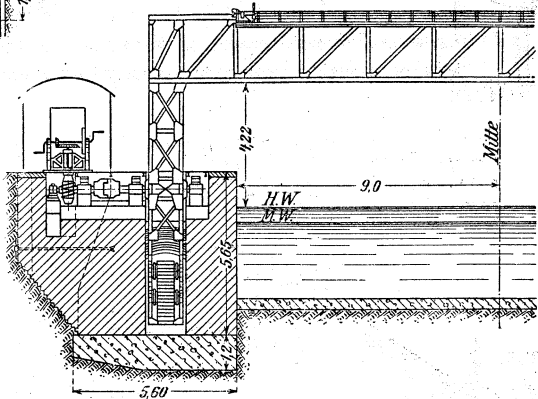
Abb. 80 u. 81.

Sperrtor des Dortmund—Ems-Kanals.

Ausführung als Stemmter, das selbsttätig durch strömendes Wasser geschlossen wird, oder als Klapptor mit wagerechter Achse, die unter der Kanalsohle liegt, entweder mit Antrieb oder selbsttätig, oder als Hubtor, oder als Segmenttor.

Die Kanalbreite wird gewöhnlich etwas eingeschränkt. Mittelpfeiler sind unerwünscht. Schließen muß in wenigen Minuten möglich sein.

Brücken über Kanäle erhalten neuerdings Lichtweiten, die dem uneingeschränkten Kanalquerschnitt, höchstens mit ge-



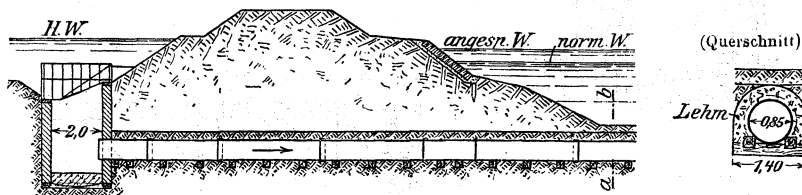
ringer Einziehung der Leinpfadbreite, entsprechen. Steilere Böschungen unter der Brücke sind nur bei schiefen Brücken mit teurem Ueberbau empfehlenswert. Mittelpfeiler haben sich nicht bewährt.

Die lichte Durchfahrthöhe unter Brücken beim Oder-Spree-Kanal 3,50 bis 3,70 m, beim Ems-Weser-Kanal 4,0 m über dem angespannten Wasserspiegel, beim Dortmund-Rhein-Kanal 4,70 m wegen der Senkungen im Bergbaubgebiet, beim Donaukanal 4,5 m, beim Elbe-Trave-Kanal 4,5 m. Bei langen Haltungen ist auf einen Windstau bis zu 0,40 m zu rechnen.

Düker, Durchlässe und Kanalbrücken dienen zur Unterführung von Wasserläufen unter dem Kanal. Werden Durchlässe sehr groß, so

Abb. 82 u. 83.

Rohrdüker mit Fallkessel des Dortmund-Ems-Kanals.



wird die äußere Dammböschung zur Kürzung des Bauwerks mehr oder weniger durch eine Stirnmauer ersetzt. Fällt die äußere Dammböschung ganz fort, so erhält man die Form der Kanalbrücke; hierbei wird gewöhnlich bei breiten Wasserläufen der Querschnitt des Kanals in

Abb. 84 u. 85.

Gemauerter Düker des Dortmund-Ems-Kanals.



der Breite erheblich eingeschränkt, zuweilen auf einschiffigen Querschnitt. Kanalbrücken kommen auch bei Wegunterführungen vor.

Bei Dükern kommt die im Längsschnitt schlank gestreckte Form und die rechtwinklig geknickte Form mit Fallkesseln vor; letztere bietet dem Wasser größere Bewegungswiderstände. Die Querschnittsform ist bei kleinen Querschnitten gewöhnlich kreisförmig, bei größeren rechteckig mit ge-

wölbter oder flacher Decke oder mauelförmig; bei geringer Bauhöhe aus mehreren Teilquerschnitten zusammengesetzt.

Baustoff bei geringem Durchmesser (bis 0,8 m) gusseiserne, darüber flusseiserne Muffenrohre (letztere besonders bei unsicherem Untergrunde); Beton oder Eisenbeton (in fertigen Rohren oder an Ort und Stelle hergestellt) und Mauerwerk.

Die sekundlich abzuführende Wassermenge wird je nach der Gröfse, Höhenlage, Neigung, Niederschlagshöhe usw. des Zuflufsgebietes bemessen. (Vgl. Abschn. Wasserversorgung; ferner Z. d. B. 1907, S. 321.) Beim Dortmund-Ems-Kanal sind bei Winterhochwasser sekundliche Abflussmengen von 0,15 bis 0,22 cbm/qkm angenommen, bei Sommerhochwasser etwa die Hälfte; für ausnahmsweise grofse Hochwasser und ganz kleine Gebiete bis zu 0,45 cbm/qkm. Die Geschwindigkeit ist wegen Spülung bei HW auf 1,5 bis 2,0 m/sk zu steigern. Ueber die Berechnung des Staus durch Geschwindigkeits- und Richtungswechsel und Reibung im Rohr (s. I. Bd. S. 292).

Die kleinsten Rohre müssen, um bekriechbar zu sein, 0,60 m Durchmesser haben. Die höchsten Punkte müssen der Dichtung wegen wenigstens 0,60 m, besser 0,90 m unter der Kanalsohle liegen. Wegen Spülung werden oft zwei Rohre mit Verschlüssen angelegt. Für Durchlässe gilt ähnliches.

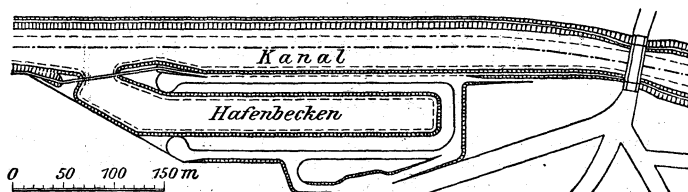
Kanalbrücken werden selten einschiffg, meist zweischiffg ausgeführt; ihre Breite ist beim Dortmund-Ems-Kanal und bei den neuen österreichischen Kanälen 18 m, beim Rhein-Weser-Kanal zu 24 m angenommen, die Tiefe 2,5 m.

Kanalhäfen

werden entweder als einfache Ausbuchtungen des Kanals für eine oder mehrere Schiffslängen hergestellt, oder als besondere Becken, deren

Abb. 86.

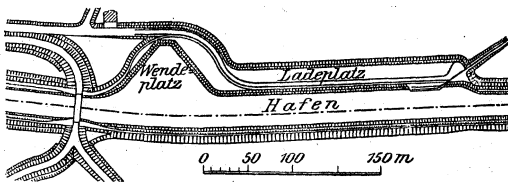
Hafen des Teltow-Kanals.



Gestaltung sich ganz nach der Oertlichkeit, den Wege- und Eisenbahnanschlüssen usw. richtet. Richtung zur Kanalachse beliebig, weil keine Strömung. Höhenlage in der Regel 1—2 m über dem angespannten Wasserstand; wenn Güter nur eingeladen werden, auch höher. Mindestbreite der Hafenbecken vier Schiffsbreiten; nutzbare Länge nach Schiffslängen zu bemessen. Ladeufer steil mit Pflaster,

Bohlwerk oder Kaimauer. Für Freiladeverkehr eines Ufers Tiefe des Hafengeländes etwa 25 m; bei Speicheranlagen 40 bis 80 m, bei zwei Reihen Gebäude etwa 120 m (Schuppentiefe = 15 bis 25 m), bei Lagerplätzen etwa 100 m, für Kohlen und Erze mehr; bei Fabrikanlagen 100 bis 200 m. Bei Eisenbahnanschlüssen womöglich 2 Gleise am

Abb. 87.
Kl. Hafen des Dortmund-Ems-Kanals.



Ufer mit Weichenverbindung. Auf 1 qm können 0,4 t Holz, 1,5 t Kohlen, 3 t Roheisen gelagert werden. Auf Zungen gewöhnlich zwei Reihen Lagerplätze mit Fahrweg in der Mitte. Bei lebhaftem Verkehr lassen sich auf 100 m Kailänge umschlagen:

bis 60 000 t grober Massengüter (Kohle),

„ 30 000 t gemischter Güter (Sackware, Speichergüter).

Die Verladeeinrichtungen müssen für den größten Tagesverkehr der Ladestelle eingerichtet sein (kurze Liege- und Ladefristen).

Elevatoren für Kornfrucht leisten 20 bis 60 t/st

Krane für Massengüter

(Selbstgreifer usw.) bei 1,5 t Tragfähigkeit . . 10 „ 20 „

dsgl. bei 2,0 t „ . . . 30 „

Rutschen und Trichter zum Einladen 10 „ 30 „

Brückenkrane mit Laufkatzen zum Bestreichen

großer Lagerplätze bei 3 bis 5 t Tragfähigkeit 50 „ 80 „

Krane werden möglichst fahrbar gemacht, um die Schiffe festliegen lassen zu können, nur Krane für schwere Einzellasten feststehend (vgl. auch Flufshäfen).

III. SCHIFFSSCHLEUSEN.*)

A. Allgemeines.

Hauptteile jeder Schleuse sind das Haupt mit der Verschlussvorrichtung oder die Häupter mit der dazwischenliegenden Kammer. Ein Haupt ohne Kammer kommt bei Schutz- oder Deichschleusen vor, um

*) H. d. I.-W. III. Bd. 8. — Fortschr. d. Ing.-Wissensch. 2. Gruppe. — Z. f. B. 1892. Brennecke, Berechn. u. Bauweise gemauerter Schleusen; 1893, Berechn. der Standsicherh. d. Bohlwerke; 1890, Mohr, Der Oder-Spree-Kanal. 1896 S. 361. — Z. d. V. d. I. 1900. Hotopp, Schleusen des Elb-Trave-Kanals. — Z. f. B. 1901, 1902, Bau des Dortmund-Ems-Kanals. — Z. d. B. 1884, Schleusenbau in der Spree bei Charlottenburg. — Zeitschr. d. Arch. u. Ing.-Ver. z. Hannover 1866. Franzius, Wasserbau. Anlag. d. Stadt Papenburg. Landsberg, Die eisernen Tore der Schiffsschleusen; Sympher, Die wirtschaftl. Bedeutung des Rhein-Elbe-Kanals. Prüssmann, Vergleich zw. Schleusen u. mech. Hebewerken, 1903.

zeitweilig höheres Aufsenwasser abzuhalten; zuweilen wird der Wasserdruk auf zwei gleichgerichtete Tore verteilt (Abb. 88 u. 89). Ein Tor findet sich ferner bei Dockschleusen, die zeitweilig höheres Innenwasser zurückzuhalten haben. Eintorige Schleusen sind nicht immer befahrbar. Dies wird durch Kammerschleusen erreicht.

Einzelteile einer gewöhnlichen Kammerschleuse, Abb. 90, sind:

aa die Torflügel, hier als Stemmtore gedacht, *bb* der Vorboden oder Drempe, *cc* die Wendenische, *dd* die Tornische, *ee* die Torkammer, *ff* der Abfallboden, *g* die Kammer, *hh* die Vorschleuse mit den Dammbalkenfalzen, *ii* die Flügel.

Zum Ausgleich des Wassers in der Kammer mit dem des Oberwassers oder des Unterwassers dienen Torschützen, Umläufe, Grundläufe oder Heber.

Wenn nach beiden Richtungen gegen höheres Wasser zu schleusen ist, so sind die Stemmtore am Ober- und Unterhaupt zu verdoppeln (Abb. 91) oder beiderseitskehrende Tore (Schiebe- oder Hubtore) anzuwenden.

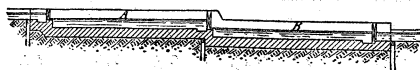
Die bauliche Anordnung ist verschieden, je nachdem es sich um Kanalschleusen — in Scheitelkanälen, Seitenkanälen oder Seekanälen —, Flussschleusen oder Seeschleusen handelt. (Vrgl. Kanalisierung der Flüsse S. 547 und Kanalbau S. 558.)

Zur Ueberwindung großer Gefälle werden entweder Schachtschleusen (bis 10 m ausgeführt, bis 20 m geplant) verwendet, oder

mehrere Schleusen mit Zwischenhaltungen oder Kuppelschleusen ohne solche, oder mechanische Hebwerke. Letztere haben den geringsten Wasserverbrauch und gestatten die Ueberwindung sehr großer Höhenunterschiede mit geringem Zeitverlust, sind aber empfindlich und kostspielig; auch nur bei besonderen Geländeverhältnissen anwendbar.

Kuppelschleusen sparen gegenüber einfachen Schleusen an Mauerwerk und Toren, verursachen jedoch Zeitverluste und verbrauchen viel Wasser. Der Wasserverbrauch kann ebenso wie bei anderen Schleusen durch Sparbecken (vgl. S. 580) vermindert werden.

Abb. 92.
Kuppelschleuse.



Bei erhöhten Ansprüchen an die Leistungsfähigkeit werden die Schleusen für mehrere Schiffe nebeneinander (Doppelschleusen) oder hintereinander (Schleppzugschleusen) oder neben- und hintereinander (Kesselschleusen) eingerichtet; oder es werden zwei Schleusen nebeneinander angelegt, die gegenseitig als Sparbecken dienen können.

Seeschleusen können als einfache Schutzschleusen ausgebildet werden, die nach aufsen kehren, wenn der Hafenwasserstand nicht viel über dem äußeren Niedrigwasser liegt und höheres Aufsenwasser nur zeitweilig auftritt. Um den Hafenwasserstand nicht zu tief abfallen zu lassen und den Angriff auf die Ufer infolge des Wasserwechsels zu vermindern, werden häufig Ebbetore hinzugefügt.

Wenn der Flutwechsel hoch und regelmäfsig ist und der Hafenwasserstand hoch gehalten werden kann, so wird eine einfache Dockschleuse, die nach innen kehrt, angewendet; bei sehr hohem Flutwechsel wird ein Vorhafen durch eine weitere Dockschleuse auf halber Fluthöhe gehalten — Halbtidedock.

Zur Abhaltung besonders hoher Aufsenwasserstände werden vor Dockschleusen häufig Schutzschleusen gelegt, die in Fällen der Gefahr geschlossen werden.

Kammerschleusen als Seeschleusen werden bei starkem Wasserwechsel selten angewendet, weil die tiefgehenden Schiffe aufsen meist nur bei Hochwasser fahren können; bei geringem Flutwechsel kommen sie eher in Frage. Bei niedrigem Binnenwasserstande sind Kammerschleusen oft notwendig, weil die tiefgehenden Schiffe bei niedrigem Wasserstande ausgeschleust das nächste Hochwasser erwarten müßten. Auch Kammerschleusen erhalten oft Schutzore gegen Sturmfluten.

Kammerschleusen, die in jedem Haupt zwei nach beiden Seiten kehrende Tore haben, sind die vollkommenste Anordnung. Sie werden gewöhnlich nur bei geringerem, unregelmäfsigem Wasserwechsel angewendet. Die Schleusen des Nord-Ostseekanals enthalten außerdem noch zwei Paar Tore mit Schützen in der Mitte der Schleusen, um bei Strömung die Schleuse schliessen zu können.

Die **Abmessungen** der Schleusen richten sich nach den verkehrenden Schiffen; dabei ist die Zunahme der Schiffsgrößen zu beachten. Bei knappen Mitteln ist in erster Linie reichliche Tiefe zu geben, da eine Vergrößerung der Tiefe nicht möglich ist, während sich die Breite allenfalls, die Länge verhältnismäfsig leicht später vergrößern läßt. Bei Kanälen ist auf die anstossenden Flufsstrecken Rücksicht zu nehmen.

Zu den Abmessungen der Schiffe treten Spielräume in jeder Richtung, für die folgende Tafel einen Anhalt gibt:

Art der Schleuse	Auf jeder Seite der Breite m	Im ganzen	
		Tiefe m	Länge m
Kanalschleusen	0,1 bis 0,2	0,2 bis 0,5	0,5 bis 1,0
Flufsschleusen	0,15 „ 0,3	0,25 „ 0,5	1,0 „ 1,5
Seeschleusen mit Kammer	0,3 „ 1,0	0,3 „ 0,5	1,5 „ 2,0
Dockschleusen	1,0 „ 2,0	0,3 „ 0,5	—

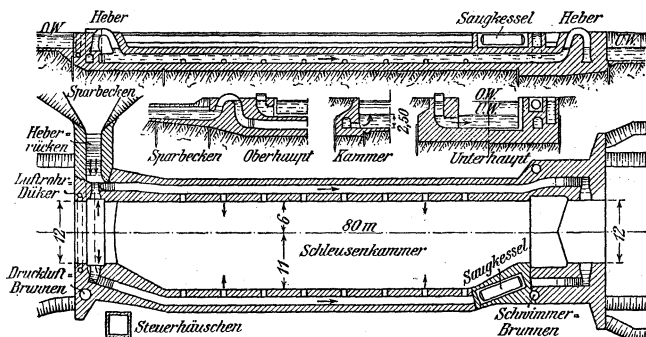
Berechnung der Schleusen. Die Beanspruchung der Schleusen ist wesentlich von der Bodenart und dem Bauvorgang abhängig. Untersuchung für leere und gefüllte Schleuse. Je gröber und durch-

lässiger der Boden, um so mehr nähert sich der Wasserdruk gegen Sohle und Wände dem vollen Druck. Je fester und unnachgiebiger der Boden, um so mehr ist sein Gegendruk örtlich gleich der Auflast, um so geringer also sind die Biegungen in der Sohle. Werden die Seitenwände zuerst aufgeführt, so wird der Boden darunter stärker gepresst und die Biegung in der später eingebrachten Sohle verringert. (Vgl. Brennecke, Berechnung und Bauweise gemauerter Schleusen, Z. f. B. 1891. H. d. I. 1904. III. Teil, VIII. Band, § 6. Engels, Z. d. B. 1905 S. 275.)

Die **Vorkehrungen zum Füllen und Entleeren von Schleusen-kammern** bestehen in Schützen in den Toren, Grundläufen unter den Toren, Umläufen um die Tore oder Hebern; vielfach werden auch Schützen und Umläufe zusammen verwendet. Maßgeblich für die Wahl und Ausgestaltung der Füllvorrichtung sind: die Schnelligkeit der Füllung, die ruhige Lage des Schiffes in der Schleuse, die Betriebs-sicherheit, die Wasserdichtigkeit und die Kosten.

Die Größe der Oeffnungen ist so zu bemessen, daß die Aufstiegsgeschwindigkeit des Schiffes $\sim 0,08$ m/sk nicht übersteigt. Bezeichnet man mit O die Kammeroberfläche in qm, mit F die Schütz- usw.

Abb. 93 bis 97.



Oeffnung in qm, mit H_0 das anfängliche Schleusengefälle in m, mit H_t das Endgefälle oder den Ausspiegelungsunterschied in m, mit ζ_1, ζ_2 usw. die einzelnen Widerstandszahlen der Geschwindigkeit v (vgl. I. Bd. S. 281 u. f. für Zusammenziehung des Strahles beim Eintritt, Krümmung, Reibung, Stoß usw. und mit t die zur Ausspiegelung von H_0 auf H_t erforderliche Zeit in sk, so ist

$$t = 2 \frac{O}{F} \frac{\sqrt{1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots}}{\sqrt{2g}} \left(\sqrt{H_0} - \sqrt{H_t} \right).$$

(Vgl. I. Bd. S. 274.)

Oeffnungen in den Toren (Gleit- oder Drehschütze mit lotrechter oder wagerechter Welle) sind wenigstens bei hölzernen Toren schwer groß genug zu machen, ohne das Tor zu schwächen und verursachen

unruhige Lage des Schiffes, sind aber billig; deshalb bei den Unterhäuptern besonders viel angewandt.

Umläufe gestatten ruhigere Einführung des Wassers und deshalb größere Geschwindigkeiten und schnellere Füllung, besonders wenn die Einstromung von Kanälen längs der Kammer durch Stichkanäle erfolgt. Die Stichkanäle liegen auf beiden Kammerwänden am besten versetzt gegeneinander, nicht gegenüber. Umläufe verteuern die Kammern.

Grundläufe verlangen eine tiefere Gründung und sind deshalb nur bei gutem Untergrund und Ausführung im Trocknen anzuwenden. Die Wasserführung ist günstig.

Heber sind wegen ihrer Wasserdichtigkeit von Vorteil.

Umläufe dienen, besonders bei Seeschleusen, auch zum Spülen des Torkammerbodens und erhalten deshalb dort niedrige verteilte Ausströmöffnungen.

Das Verhältnis n der Schütz- oder Umlauföffnung zur Kammerfläche beträgt etwa $n = 1:200$ bis $1:250$.

Sparbecken. Bei künstlicher Speisung und hohem Schleusengefälle sind zur Ersparnis an Schleusungswasser seitliche Becken, Sparbecken, empfehlenswert, die beim Entleeren der Schleuse einen Teil des aus-

Abb. 98. Entleeren der Schleuse.

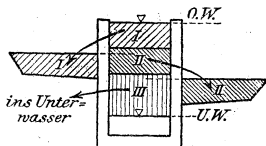
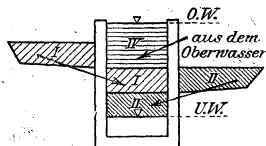


Abb. 99. Füllen der Schleuse.



fließenden Wassers aufnehmen, um ihn beim Füllen wieder an die Schleuse abzugeben. Zugleich wird hierdurch eine Verminderung der Schwankungen des Spiegels der anstossenden Haltungen und eine ruhigere Bewegung des Wassers in der Schleuse erzielt.

Bezeichnet

H das Schleusengefälle,

h das Anfangsgefälle von der Kammer nach dem Sparbecken,

e das Endgefälle (den Ausspiegelungsunterschied zwischen der Kammer und dem Sparbecken oder Kanal),

F_s die Sparbeckenfläche,

F_k die Schleusenammerfläche,

$$v = \frac{F_s}{F_k},$$

z die Höhe einer Teilschicht der Schleuse,

n deren Anzahl,

h_0 das Gefälle einer Schleuse von gleicher Fläche und gleichem Wasserverbrauch ohne Sparbecken,

h_1 den Höhenunterschied der Wasserstände eines Sparbeckens vor und nach Füllung,

E die Wasserersparnis,

Q den Wasserverbrauch;

so ist

$$h_0 = H - nz = h + e,$$

$$h_1 = h - z - e,$$

$$F_s = \nu F_h,$$

$$h = H - e - nz,$$

$$E = \frac{nz}{H} = \frac{\nu n}{1 + \nu(n+1)} \left(1 - \frac{2e}{H}\right),$$

$$z = \frac{\nu}{1 + \nu(n+1)} (H - 2e), \quad Q = 1 - \frac{nz}{H},$$

ν wird gewöhnlich zwischen 0,5 bis 2,5 gewählt, weil bei größeren Werten die Ersparnisse an Schleusungswasser nur wenig steigen, die Kosten dagegen stark,

n richtet sich nach dem Gefälle H ; die Ersparnis an Schleusungswasser wächst mit zunehmender Beckenzahl immer langsamer; deshalb ist eine mäßige Zahl empfehlenswert, 1 bis 3 bei mittleren Gefällen (6 m), 3 bis 5 bei größeren Gefällen (bis 12 m),

e gewöhnlich = 0,10 m bis 0,20 m, je nach der verfügbaren Schleusungszeit.

Zeichn. Darstellung vgl. Z. f. B. 1901, Bau des Dortm.—Ems-Kan. Abb. 52.

Die Sohle der Sparbecken muß genügend tief liegen, damit das Wasser ohne Gefällverlust abströmen kann.

Um die raschen Spiegelschwankungen in kurzen Kanalhaltungen infolge der plötzlichen Entnahme oder Abgabe des Schleusungswassers zu vermindern, werden Ausgleichbecken empfohlen, in die das Wasser mit natürlichem Gefälle oder mit Pumpen während der ganzen Schleusungsdauer aus der Oberhaltung eingelassen wird, oder aus denen es ebenso nach dem Unterwasser abgelassen wird.

B. Bauweise.

Schleusenböden können in Holz oder Stein hergestellt werden.

Hölzerne Schleusenböden werden mit Vorteil bei tief liegendem, gutem Baugrund angewendet, wenn nicht zu starker Grundwasserzudrang zu erwarten ist, und bei mäßigen Holzpreisen; die Ausführung erfordert besonders sorgfältige Zimmerarbeit, da vollständige Wasserdichtigkeit Erfordernis ist; die Haltbarkeit ist dann sehr gut. Hauptteile sind:

1. Die Spundwände, mindestens unter jedem Dremel und an den Enden eine Querspundwand, die aufs sorgfältigste herzustellen sind; neben den Dremeln Flügelspundwände, sie werden mit kurzem Zapfen in Nuten des Bohlenbelages eingelassen. Dichtung mit geteertem Fließpapier; Längsspundwände sind zuweilen für den Bau (Wasserhaltung) nötig, sonst aber entbehrlich.

2. Der Pfahlrost, dessen Pfähle das Gewicht und den Erddruck der Seitenwände aufzunehmen und die Verankerung des Bodens gegen Auftrieb zu übernehmen haben.

3. Ueber den Pfählen liegen quer zur Schleusenachse die Grundbalken, die durch Keile mit den Pfählen verbunden sind; die Entfernung richtet sich nach der Größe des Auftriebs; die stärksten

Hölzer sind dazu zu verwenden; sie müssen wenn möglich bis unter die Seitenmauern reichen.

4. Die Zangen liegen auf den Grundbalken verkämmt aufgebolzt und ragen im Boden um die Stärke des Bohlenbelages darüber hinaus, unter den Seitenmauern aber 1 bis 2 Ziegelschichten.

5. Zwischen den Zangen liegt der etwa 10 cm starke, gehobelte Bohlenbelag auf den Grundbalken aufgenagelt.

6. Ueber dem Belag liegen häufig noch Spannbalken, die ins Mauerwerk seitlich eingreifen; sie werden mit Spitzbolzen und Schlüsselkeilen mit den Grundbalken verbunden.

Abb. 100.

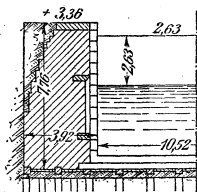
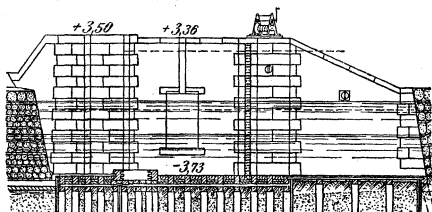


Abb. 101.

Schleuse in Papenburg.



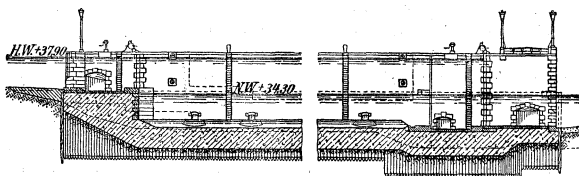
Der Raum zwischen den Spannbalken wird mit Klinkern ausgemauert; wo keine Spannbalken liegen, wird ein zweiter Bohlenbelag aufgebracht.

Der Dremel höchstens 40 cm hoch.

Steinerne Schleusenböden sind solche, deren Haupttragwerk aus Stein besteht; sie können auch auf Pfahlrosten gegründet sein. Die

Abb. 102.

Schleuse des Dortmund - Ems - Kanals.



Form der Seeschiffe gestattet in den Kammern verkehrte Gewölbe, wodurch die Seitenwände günstig gespannt werden, Flussschiffschleusen erhalten meist wagerechte Kammersohlen; in den Torkammerböden ist wegen der Torgestalt fast stets ein gerader Boden zweckmäßig; nur bei Schwimmtoeren können auch gewölbte Böden verwendet werden. Auskleidung mit Klinkern, alle Ecken mit großen Werksteinen oder mit Eisen. Spundwände quer, oben und unten. Abschneidung von Wasseradern. Zur Begrenzung der Baugrube meist auch Längsspund-

wände. Eingriff in das Betonbett 0,30 m. Betonbett nach dem Unterwasser zu wegen der Abnahme des Auftriebs häufig schwächer als am

Abb. 103.

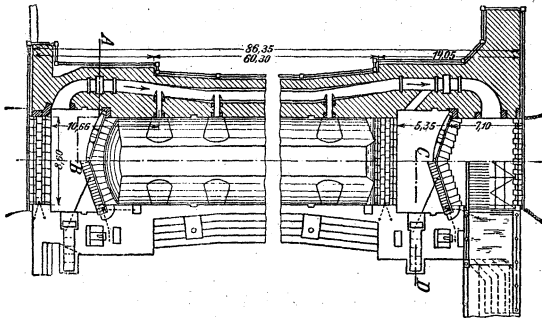


Abb. 104.

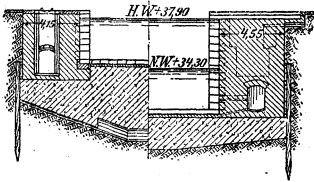
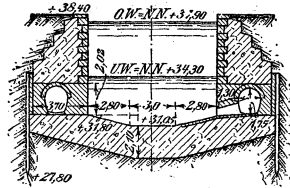


Abb. 105.



Oberwasser. Stärke so, daß es bei trockener Kammer dem Auftrieb widersteht.

Spielraum zwischen Sohle und Torunterkante, je nach Größe und Bauart 0,15 bis 0,30 m, Anschlag des Tores 0,10 bis 0,20 m hoch, Drempelhöhe 0,25 bis 0,50 m.

Durch Keilform sind die einzelnen Steine vor dem Lockern möglichst geschützt.

Hölzerne Schleusenwände kommen besonders für kleinere Kanalschleusen mit geringem Gefälle und weichem Untergrund in Frage. Ständerwerk mit rückwärtiger Verankerung, so daß Auswechslung faul gewordener Teile über Wasser leicht möglich. Tordruck und -Zug wird durch die Querspundwand aufgenommen. Hinterfüllung mit tonigem Boden.

Steinerne Schleusenwände sind ähnlich wie Kaimauern zu behandeln. Unbeweglichkeit ist besonders bei Stemmtoren erforderlich. In den Torkammern muß die Form dem Tore und dem Schiffsquerschnitt angepaßt sein; deshalb senkrecht Innenseite, Außenseite abgetrept oder schräg, Unterschneidungen des Mauerkörpers sind wegen Wasseradern gefährlich, Unterbringung von Umläufen in dem statisch unwirksamen Teil des Mauerquerschnitts. In den Kammern können bei reichlichem

Wasser die Seitenwände geböscht und nur leicht befestigt sein. — Wendenischen aus Werksteinen, die nach dem Versetzen passend geschliffen werden, oder mit Gufseisenverkleidung. Dammbalkenfalze und alle Kanten werden gut abgerundet. Abdeckplatten, Poller, Schiffsringe, Steigeleitern gehören zur Ausstattung der Wände.

Betr. der Ausführung s. Grundbau S. 226 u. f.

Die Einfahrten erhalten meist Leitwerke; bei Seeschleusen trichterförmige Einfahrten und kräftige Winden (Gangspills); letztere bei sehr lebhaftem Betrieb auch bei Flufs- und Kanalschleusen.

Statt der Dammbalken auch senkrechte eiserne oder hölzerne Nadeln, die sich oben gegen einen beweglichen Träger legen.

Auch in Umläufen Dammbalkenfalze.

Die **Tore** müssen Sicherheit gegen den höchsten Wasserdruck, genügende Dichtigkeit und leichte Beweglichkeit aufweisen.

Bauweise in Holz oder Eisen; erstere nur bei kleinen Toren im Binnenlande (Bohrwurm!) vorteilhaft.

Stemmtore haben geringen Stoffverbrauch und sind leicht beweglich, sie kehren nur nach einer Seite; die Berechnung ist unsicher,

Abb. 106. Wendenische.

C = Mittelpunkt der Nische,
C₁ = Drehpunkt des Tores,
c = Exzentrizität = ~ 2 cm.

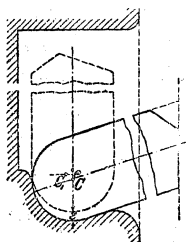
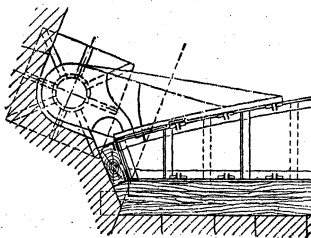


Abb. 107.

Wendenische mit besonderer Dichtungsleiste.



sobald sie auch im Drempe! Kraft übertragen. Beschädigungen beim unruhigen Wasser, Verdopplung der Bewegungseinrichtungen, Beschädigungen der Zapfen und Halsbänder, Empfindlichkeit gegen Bewegungen des Mauerwerks sind Nachteile der Stemmtore. Für kleine und mittlere Schleusen in Holz, für grössere in Eisen; besonders beim Handbetrieb.

Stemmtore müssen zur Erleichterung der Bewegung etwas exzentrisch gegen die Wendenische liegen, oder die Dichtungsfläche muß abseits von der Drehachse liegen (Abb. 106 u. 107).

Fächertore gestatten Bewegung bei beliebigen Wasserständen; daher besonders zu Spülzwecken.

Einfüßlige Drehtore mit senkrechter Achse als Drehponton für Dockschleusen und große Kanalschleusen. Nachteil: große freie Länge, Vergrößerung der Kammer am Unterhaupt.

Zweifüßlige Drehtore — wie Stemmtore, aber mit oberem und unterem Anschlag zur Kraftübertragung — nur bei Schachtschleusen.

Klapptore mit wagerechter Drehachse, nur bei Oberhäuptern bei mäßiger Weite und gleichbleibendem Wasserdruck; kehren nur nach einer Seite.

Hubtore besonders bei hohen Schleusengefällen (Schachtschleusen) vorteilhaft, geringe Kammerlänge, leichte Instandhaltung.

Schiebetore besonders bei Dockschleusen und Trockendocks. Vorzüge: klare Beanspruchung, kehren nach beiden Seiten, erfordern kein Mehr an Kammerlänge, bieten bequeme Verbindung über die Schleuse, große Betriebsicherheit, Beweglichkeit im strömenden Wasser und bei Ueberdruck, Unempfindlichkeit gegen Bewegung der Mauern.

Schwimmtore (Pontons) hauptsächlich bei Trockendocks; bei Schiffschleusen ist das Ein- und Ausbringen im allgemeinen zu zeitraubend.

Höhe der Schleusentore richtet sich nach dem höchsten schiffbaren Wasserstande (Ueberströmung womöglich zu vermeiden) oder dem höchsten abzuhaltenden Wasser (bei Seeschleusen je nach Wellenhöhe 1 m und mehr darüber).

Berechnung der Stemmtoore

1. für geschlossenen Zustand,
2. für geöffneten Zustand.

Zu 1. Der höchste Wasserstandsunterschied ist maßgebend; Druckfigur ein Rechteck von der Höhe des Unterwassers, darüber ein Dreieck bis zum Oberwasser. Auf Druckübertragung am Drempel wird nicht gerechnet, sie muß möglichst vermieden werden, auch bei niedrigster Temperatur; jeder Riegel überträgt den Wasserdruck des auf ihn entfallenden Streifens b nach Art des Dreigelenkbogens.

Abb. 108.

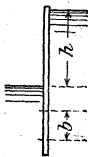
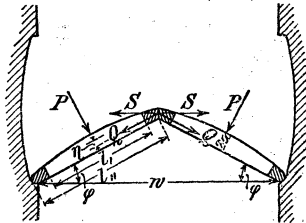


Abb. 109.



Bedeutet F den Querschnitt, J das Trägheitsmoment eines Riegels, γ das spezifische Gewicht des Wassers, so ist nach den Bezeichnungen der Abb. 108 u. 109 die Beanspruchung des Riegels

$$\sigma = \frac{l, b h \gamma}{2 \operatorname{tg} \varphi F} + \frac{a l,^2 b h \gamma}{8 J} - \frac{a l, b h \gamma \eta}{2 \operatorname{tg} \varphi J}$$

infolge des Achsdrucks $Q = \frac{P}{2 \operatorname{tg} \varphi}$, der Biegung und des exzentrischen Angriffs des Achsdrucks. Bei Holztooren gewöhnlich $\eta = 0$. Bei eisernen Tooren läßt sich durch Vergrößerung der Krümmung auf der Oberwasserseite und Vermehrung der Gurtplatten der Riegel dort günstige Querschnittsform erzielen. Druckübertragung an der Schlagssäule möglichst nahe der Unterwasserseite (besondere Stemmklager). Wenig starke Riegel mit leichten Zwischenaussteifungen vorteilhaft.

Pfostentore mit nur zwei Riegeln und senkrechten Trägern für das Bekleidungsblech sind für den Stoffverbrauch günstig, wenn

$$\frac{\text{Torlänge}}{\text{Torhöhe}} > 1,0 \text{ bis } 1,225.$$

Neigung des Dremfels etwa $\text{tg } \varphi = 0,33$.

Zu 2. Bei geöffnetem Tore wirken das Torgewicht G , der Auftrieb A , der senkrechte Zapfendruck V , der wagerechte Zug im Hals- und im Zapfenlager Z ; dann ist

$$V = G - A \quad Z = \frac{G b - A c}{h}$$

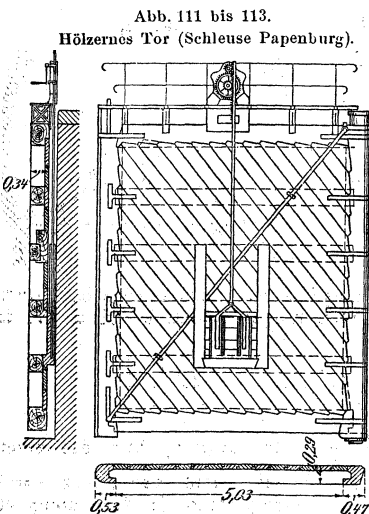
Zur Verringerung des Zuges Z werden entweder Gegengewichte auf dem über die Wendesäule verlängerten obersten Riegel oder Luftkästen im Tore unter Unterwasser angeordnet.

Berechnung der anderen Torarten als Platten, die auf zwei oder drei oder vier Seiten auflagern.

Ausführung der Stemmtore. Hölzerne Stemmtore fast nur aus ausgesucht gutem Eichenholz; sauberste Arbeit der gehobelten Hölzer

erforderlich. Riegel meist in annähernd gleichen Abständen, da oben durch Fäulnis, Eis, Schiffsstöße, unten durch Wasserdruck beansprucht; zuweilen auf der Unterwasserseite nach der Wende- und Schlagsäule zu verjüngt, um bei jenen an Stärke zu sparen, deshalb auch meist quadratischer oder hochkantiger Querschnitt.

Streben und Bohlen nicht steiler als 30° zur Wendesäule, mit den Riegeln zur Hälfte überschritten. Außenseite bündig mit den Bekleidungsbohlen; mit Versatz in die Umrahmungshölzer eingelassen. Stärke doppelt so groß wie die der Bohlen, die 5 bis 8 cm stark sind. Umfangshölzer am besten alle gleich stark; Breite größer als Dicke, etwa 5:4 bis 6:4. Schlagsäule oben und unten vorstehend, Wendesäule oben

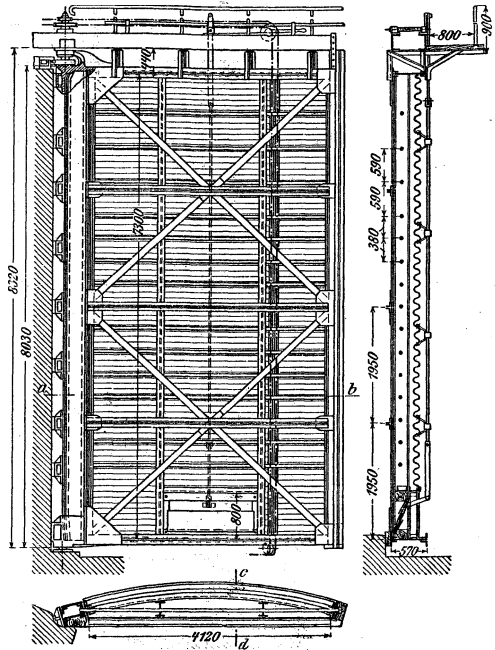


vorstehend. Zugstange am besten beiderseitig mit Spannvorrichtung. Beschläge zur Verbindung der Riegel mit den Säulen bündig eingelassen.

Eiserne Stemmtore. Bei geringen Weiten ($< \sim 14$ m) meist einfache Blechhaut, bei gröfseren doppelte, die ganz oder zum Teil als Schwimmkasten ausgebildet wird. Tore entweder eben mit ebenem oder Buckelblech oder gekrümmt mit glattem oder Wellblech. Zur Dichtung dienen Holzleisten und Holzanschläge, fest oder beweglich.

Abb. 114 bis 116.

Eisernes Untertor des Oder—Spree-Kanals (Schleuse Wernsdorf).



Zapfen. Unterer Zapfen in dem Boden der Schleuse, Pfanne an der Wendesäule befestigt. Halbkugelförmig oder zylindrisch mit Kugelkalotte. Bedeutet

r den Halbmesser

der Kalotte in cm,

σ_2 die zulässige Beanspruchung in t/qm

(0,75 bis 1,5 t/qm

für Schmiedeisen,

1,0 bis 2,0 t/qm

für Gußstahl),

V den senkrechten

Zapfendruck,

Z den wagerechten

Zapfendruck,

α den halben Zentralkalotte,

so ist (nach Landsberg)

$$r \geq 0,691 \sqrt{\frac{V}{\sigma (1 - \cos^3 \alpha)}}.$$

Der Zapfendurchmesser wird

$$d = 2 R \sin \alpha.$$

Damit der Druck die Kalotte im mittleren Drittel schneidet, muß

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{3} \geq \frac{Z}{V}$$

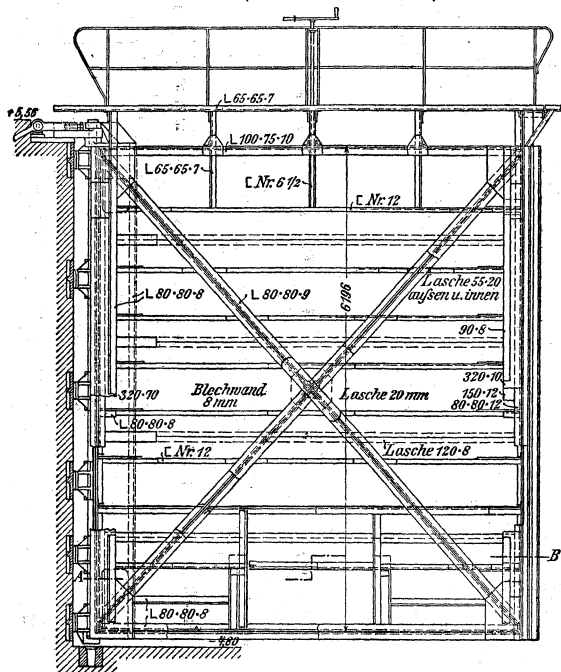
sein.

Der obere Zapfen am besten so anzuordnen, daß das Tor senkrecht ausgehoben werden kann. Halsband um den Zapfen, deshalb von der Verankerung getrennt. Gute Einstellung erforderlich, damit

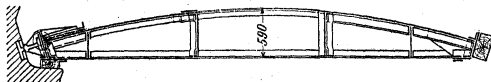
Drehachse lotrecht. Verankerung so, daß nur Zug auftritt, genügend Mauerwerk gefast wird (Verüstelung der Anker) und der Druck im Mauerwerk die zulässige GröÙe nicht überschreitet. Bei großen Toren

Abb. 117 u. 118.

Eisernes Tor (Dortmund—Ems-Kanal).



Schnitt A—B.



Entlastung der Zapfen von dem Stemmdruck, Ausbildung besonderer Stemmlager an der Schlagsäule; zuweilen Laufrollen an der Schlagsäule; Vorrichtungen zum Stützen lange offenstehender Tore.

Bewegung der Stemmtore. Bezeichnet

Q_1 den Widerstand gegen die Bewegung des Tores infolge der Reibung am Zapfen und Halsband in t ,

Q_2 den Widerstand des Wassers in t ,

$\mu = \sim 0,4$ den Beiwert der Zapfenreibung,
 Q den Hebelarm von Q in bezug auf die Drehachse in m,
 V den lotrechten Zapfendruck in t,
 H den wagerechten Zug im Halsband in t,
 d den Durchmesser des Zapfens in m,
 d_1 den Durchmesser des Halsbands in m,
 l die Länge des Tores in m,
 S die eingetauchte Fläche in qm,
 v die mittlere Geschwindigkeit des Tores in m/sk,
 Δ den Unterschied der Wasserstände vor und hinter dem bewegten Tore in m,

so ist der Gesamtwiderstand (nach Landsberg)

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{1}{4q} [\mu (Vd + 2Zd_1) + Sl(225v^2 + 2000\Delta)].$$

Bildet die bewegendende Kraft R bei irgend einer Torstellung den Winkel φ mit der Normalen zur Torfläche, so ist ihre Größe in t

$$R = \frac{Q}{\cos \varphi}.$$

Bei halb geöffnetem Tore ist gewöhnlich $\varphi = 0$.

Δ wird groß, wenn das Tor sich der Tornische nähert, wenn nicht das Abströmen des Wassers besonders erleichtert wird.

Q greift in etwa halber Torhöhe im Abstände von $\frac{l}{2}$ bis $\frac{3}{4}l$ von der Drehachse an, R bei kleinen Toren meist oben, über Wasser, bei größeren möglichst in der Nähe des Angriffs von Q , um Verbiegungen zu vermeiden, bei Toren mit Laufrollen ganz unten, dsgl. bei Toren mit gekreuzten Ketten. Bewegung bei kleineren Toren (6 bis 7 m Schleusenweite) oder selten benutzten größeren durch Menschenkraft (Schiebestange, Drehbaum, Schiebebaum mit Winde, Zahnquadrant oder Zahnstange mit Winde oder Gangspill), bei größeren und viel bewegten durch Druckwasser (mittels Zahnstangen, Ketten, oder unmittelbar auf das Tor wirkende Druckwasserpressen); durch Druckluft (mittels Zahnstange und Zahnrad, das durch eine mit Druckluft zeitweise entlastete Taucherglocke und ein Gegengewicht in verschiedenem Sinne gedreht wird) oder durch Elektrizität.

Ähnlich ist die Bewegungsvorrichtung für einflügelige Tore mit senkrechter Drehachse und Fächertore.

Klapptore werden durch Ketten, die durch Winden mit Menschenkraft oder Druckwasser getrieben werden, oder durch eingblasene Prefsuft gehoben und durch ihr eigenes Gewicht gesenkt.

Der Kettenzug Q muß die Komponente des Torgewichts G_1 , des Bewegungswiderstandes G_2 des Wassers und die Reibung des Zapfendrucks R_2 an der Drehschwelle überwinden, der z. T. durch G_1 , z. T. durch G_2 erzeugt wird.

Der Bewegungswiderstand wirkt senkrecht zur Torfläche und beträgt (nach Landsberg) $G_2 = 75 S v^2$ in t (S = Torfläche in qm,

Wenn Tore gegen Ueberdruck geöffnet werden sollen, so ist die Kraft hiernach zu berechnen.

Torschütze und Umläufe.

Zugschütze. Widerstand gegen Oeffnen
= Druck auf Schützfläche \times Reibungsbeiwert + Gewicht, wenn letzteres nicht durch Gegengewichte ausgeglichen.

Bei kleinen Schützen oder kleinem Gefälle einfache Hebelübersetzung; sonst Zahnstangen mit Winden.

Durch Rollschütze kann die Reibung, durch Kulissenschütze die Hubhöhe stark vermindert werden.

Dreheschütze. Achse lotrecht oder wagerecht; zuweilen um $+e$ außer der Mitte, so daß Ueberdruck auf festen Schluß wirkt. Das Widerstandsmoment M entsteht beim Öffnen durch Reibung am Zapfen vom Durchmesser d , durch den hydrostatischen Druck auf die ganze Klappe D und M' bei der Bewegung durch den hydraulischen Druck.

Mit den Bezeichnungen der Abb. 121 ist

$$M = D \left(e + \frac{c}{2} + \mu \frac{d}{2} \right)$$

$$M' = 0,9 D \left(0,075 b + e + \mu \frac{d}{2} \right)$$

(nach Linckfeld, Z. f. B. 1892 S. 385).

Um bei Oeffnung den hydraulischen Druck auf die Klappenhälfte, die sich mit dem strömenden Wasser bewegt, zu vergrößern und so das Öffnen zu erleichtern, hat man diese Klappenhälfte verlängert oder in der anderen vorher zu öffnende Hilfsklappen angebracht, oder die Schützöffnung durch eine Anzahl kleiner Drehschütze (jalousieschütze) verschlossen.

Zylinderschütze. Widerstand gegen Bewegung sehr klein, da Gewicht leicht auszugleichen ist und hydrostatische und hydraulische Widerstände fehlen. Entweder als „hohe Zylinderschütze“ bis zum Oberwasser offen durchreichend, oder als „niedrige Zylinder-

Abb. 120.
Drehschütz.

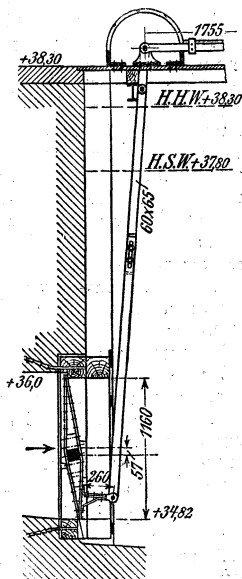
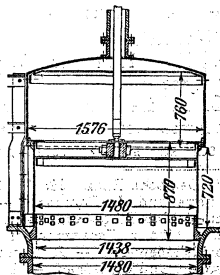


Abb. 122.
Zylinderschütz.



schütze“ ausgebildet, wobei das Schütz in eine geschlossene dicht anschließende Glocke aufgezogen wird.

C. Schiffshebewerke.*)

Zur Ueberwindung großer Höhenunterschiede; Hebung teils auf geneigter Ebene — entweder quergeneigt oder längsgeneigt —, teils lotrecht. Trockenförderung nur bei kleinen Schiffen (wegen der zu starken Beanspruchung des Schiffskörpers). Nachgiebige Stützung des Schiffskörpers vorgeschlagen. Schwimmende Beförderung in beweglicher Kammer trotz der großen toten Last für große Schiffe allein ausgeführt. Längsgeneigte Hebewerke, d. h. solche, bei denen der Trog in seiner Längsrichtung bewegt wird, sind 1:8 bis 1:20 geplant; quergeneigte 1:2 bis 1:8. Stützung durch Räder, die durch Tragfedern, Drahtseile, die über Rollen laufen, oder durch Preßwasserkolben gleiche Belastung erhalten; oder durch Gleitschuhe, die durch Preßwasser von der Gleitbahn abgehoben werden; oder durch Wälzungsrollen, die durch eine Kette ohne Ende von dem Wagen mitgeführt werden.

Fahrtgeschwindigkeit gewöhnlich bis zu 1 m/sk angenommen.

Das Gewicht des Wagens wird entweder durch einen zweiten Wagen ausgeglichen, der mit dem ersten durch ein über eine liegende Seilscheibe geführtes Drahtseil verbunden ist, oder besser durch Gegengewichte, die unter oder neben dem Schleusenwagen auf besonderen Gleisen laufen; durch letztere Anordnung sind die beiden Hebewerke unabhängig. Auch elektrischer Ausgleich ist vorgeschlagen, wobei der niedersteigende Wagen auf einen Sammler arbeitet und so gebremst wird.

Längsgeneigte Hebewerke haben vor den quergeneigten folgende Vorzüge voraus:

1. Das Hebewerk ersetzt ein gleich langes Kanalstück;
2. besondere Gradführung des Wagens ist nicht nötig;
3. die Zahl der Gleise ist geringer;
4. die Bauwerke zum Anschluß des Troges an den Kanal sind billiger.

Nachteile der längsgeneigten Hebewerke sind:

1. Die Höhe der Wagen am unteren Ende des Schleusentrogens wird groß;

2. da die Schiffe sich vor der Einfahrt begegnen müssen, aber nicht wie bei den quergeneigten Ebenen gleichzeitig aus- und einfahren, so ist die Leistungsfähigkeit geringer;

*) Deutsche Bauz. 1888 S. 591 und Z. d. V. d. I. 1890 S. 280. Schiffshebewerke bei Fontinette und La Louvière. — Z. d. B. 1894 S. 415. Ueberwindg. d. Gefälle beim Donau-Moldau-Elbe-Kanal. — Z. f. Binnenschiff. 1896 97 S. 147. Bubendey, Gegenwärt. Stand d. Mitt. z. Ueberwind. gr. Gefälle. — Z. d. V. d. I. 1898. Jebens, Schiefe Ebenen u. Schiffshebewerke. — Z. d. österr. Ing.- u. Arch.-V. 1894 S. 421. Schiffshebewerk nach Teutschert und Chrischek. — Z. d. B. 1894 S. 357. Nakonz, Schiffshebewerk. — Riedler, Neuere Schiffshebewerke, 1897. — Z. d. V. d. I. 1896 S. 57, 165 und 1899 S. 941. — Z. f. B. 1901–1902. Bau d. Dortmund-Ems-Kanals über Schiffshebewerk bei Henrichenburg. — Oesterr. Woch. f. d. öf. Baud. 1902 S. 1. Schönbach, Neue Entw. f. Schiffshebewerke d. Donau-Moldau-Kanals. — Prüssmann, Vergl. von mechan. Hebewerken und Schleusen. Berlin 1905.

3. die Wasserschwankungen durch die Beschleunigung usw. sind größer;

4. die Bahnlänge wird wegen der geringeren Steigung größer.

Vorgeschlagen ist als besondere Art der quergeneigten Hebewerke die Schiffstrommel, bestehend in einem ins Unter- und ins Oberwasser einrollenden Blechzylinder von 70 m Länge, 16 m Durchmesser mit Stirnwänden, die eine konzentrische Öffnung zum Ein- und Ausfahren der Schiffe von 9,5 m Durchmesser freilassen, ohne Tore oder Schützen und mit vier Laufringen, denen vier breite Schienen der Bahn entsprechen. Fortwälzung durch Abwicklung von angetriebenen Drahtseilen. In etwas anderer Form als Schleusentrog vorgeschlagen, der sich mittels Wälzungsrollen gegen die Innenseite von großen Wälzungsrollen stützt, die auf Rollbahnen laufen.

Senkrechte Hebewerke sind für kleine Schiffe als Doppeltröge ausgebildet, die durch Ketten, die über Rollen laufen, im Gleichgewicht gehalten werden. Statt des zweiten Troges auch Gegengewichte. Bei größeren Anlagen ruht der Trog auf einem oder mehreren Druckwasserkolben oder auf Schwimmern. Gradführung von besonderer Wichtigkeit, durch hydraulische Steuerung, Gleitbacken, Zahnstangen oder Schraubenspindeln.

Vorgeschlagen sind ferner senkrechte Hebewerke in Gestalt eines wagerecht schwimmenden, drehbaren Zylinders, der gleichlaufend zu seiner Achse zwei Tröge zur Aufnahme eines aufsteigenden und eines absteigenden Schiffes hat, oder eines zweiarmigen Hebels, der sich auf einen schwimmenden wagerechten Zylinder stützt und an seinen Enden Schleusentröge trägt, oder eines unter Wasser liegenden zylinderförmigen, ganz geschlossenen Schleusentrog, der im Gleichgewicht befindlich in einem Schacht auf- und niederbewegt wird und an seinen Stirnwänden mit dem Ober- und Unterwasser zur Aufnahme des Schiffes in Verbindung gesetzt werden kann (Tauchschleuse).

Anwendungsgebiete.

Wesentlich spricht die Geländegestaltung bei der Wahl des Hebewerks mit, um hohe Dämme und tiefe Einschnitte zu vermeiden; andererseits hängt die Linienführung des Kanals von den geplanten Hebewerken ab; ferner sind Wassermenge und Baugrund von Wichtigkeit. Bis etwa 10 m Hubhöhe ist die einfache Schleuse (mit Sparbecken) gewöhnlich am Platze, bis 20 m auch als Schachtschleuse oder Schleusentreppe, wenn reichlich Wasser vorhanden ist und der Verkehr mäßig. Bei geringer Wassermenge kommen bis zu 15 bis 20 m Hubhöhe längs- und quergeneigte Ebenen, senkrechte Hebewerke mit Gegengewichten, Druckwasserhebewerke und Tauchschleusen in Frage, Schwimmerhebewerke nur bei sehr günstigem Baugrund; zwischen 20 und 30 m Hubhöhe werden längs- und quergeneigte Ebenen, über 30 m quergeneigte Ebenen und über 40 m Schiffstrollen empfohlen.

IV. FLUSSMÜNDUNGEN UND SEEKANÄLE.*)

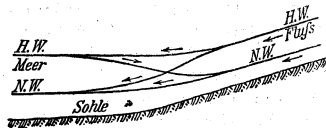
Die Gestaltung und die baulichen Maßnahmen bei Flussmündungen, d. h. den vom Meere abhängigen Flussstrecken, richten sich wesentlich: 1. nach der Größe, dem Wasserstandswechsel und der Sinkstoffführung des Flusses; 2. nach der Eigenart des Meeres, insbesondere der Tiefe, der Küstenströmung, der Delta- und Haffbildung, der Höhe von Sturmfluten und vor allem nach dem Vorhandensein von Ebbe und Flut.

Deltabildungen bei starker Flut nur bei großen, sinkstoffreichen Flüssen, bei schwacher Flut auch bei kleineren.

Gefälle und Fließrichtung wechseln bei Flut oder bei landwärts wehenden Winden eine Zeitlang. Geschwindigkeit, Querschnitt und Wassermenge stehen deshalb nicht wie beim oberen Flusslauf in fester Beziehung. Durch gleichzeitige Beobachtung in kurzen Zeiträumen an mehreren Punkten muß die Hebung oder Senkung der Wasserstände bestimmt und hieraus in Verbindung mit der Fläche die ein- oder ausgetrönte Wassermasse berechnet werden. Dabei ist der Zufluss des Flusswassers von oben zu berücksichtigen.

Im allgemeinen unterscheidet man Mündungen mit schwacher und mit starker Flut.

Abb. 123.
Längsschnitt einer Flussmündung.



A. Mündungen mit schwacher Flut

gehen entweder unmittelbar ins Meer oder mittelbar zunächst in eine Bucht (Haff), wo sich das Wasser klärt und aus dieser durch eine zweite Mündung (Seetief) in das Meer. Das Haff wirkt als Spülbecken für die zweite Mündung, die deshalb meist mächtiger ist als die erste.

Die Regelung des Seetiefs erfolgt zumeist zugunsten der Schifffahrt; die Landwirtschaft wird wenig berührt. Regelungsmittel sind: Festlegung der Ufer in zweckmäßiger Breite, schlanke Linienführung, Vermeidung von Gefällverlusten, Spülung der sich außerhalb und innerhalb bildenden Barren und Sandbänke durch Führung des Wassers mittels Molen und Leitwerke unter Wasser. In der ersten Mündung in die Bucht gewöhnlich Deltabildung.

(Beispiele: Odermündung, Nogatmündung, Pomündung.)

Bei unmittelbarer Ausmündung in das Meer sind meist landwirtschaftliche und Schifffahrtsinteressen wahrzunehmen. Der durch HW des Flusses und HW des Meeres erzeugte Wasserstand kommt für die Deichhöhe in Betracht, der von HW des Flusses und MW des Meeres erzeugte für die Entwässerung der Niederungen; die Wassermenge

H. d. I. 1900 III. 3. 1. — Fortschr. d. Ing.-Wiss., 2. Grupp., 2. Heft. (Seekanäle, Strommündungen, Seehäfen). — Z. f. B. 1896 bis 1899, Kaiser-Wilhelm-Kanal. — Z. d. B. 1907 S. 461, Erweiterung desselben. — Z. d. B. 1908 S. 244, Seekanäle. Schultze, Seehafenbau.

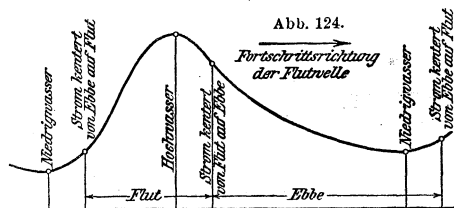
mufs ohne schädlichen Aufstau abgeführt werden; MW des Flusses in Verbindung mit MW und NW des Meeres sind wegen ihrer Dauer besonders für die Ausbildung der MW-Flufsquerschnitte bedeutsam. Innerhalb der MW-Querschnitte werden die NW-Querschnitte angeordnet; ihre Abmessungen sind durch die Verbindung von HW, MW und NW des Flusses mit NW des Meeres bedingt.

Das HW-Bett ist in den oberen Strecken durch Deiche und Hochufer, weiter unterhalb durch Sandbänke begrenzt; das MW-Bett wird wie bei den oberen Flufsstrecken ausgebildet (Buhnen, Deckwerke, Längswerke), das NW-Bett durch Niedrigwasser-Leitwerke. In der untersten Strecke des Mündungsgebiets werden hauptsächlich Molen zur Festlegung der Schifffahrtsrinne verwandt, daneben zur Unterstützung Baggerungen.

(Beispiele: Donau, Weichsel bei Neufähr und Weichseldurchstich, Rhone, Mississippi.)

B. Mündungen mit starker Flut.

Die Meeresflutwelle läuft in der Flufsmündung so weit nach oben, bis ihre lebendige Kraft erschöpft ist (Flutgrenze). Auf dem vor dem Scheitel (dem HW) liegenden Abhang der Flutwelle herrscht Flut-



strömung (landeinswärts), auf dem hinteren Abhang (der Ebbe) Ebbestromung (seewärts); jedoch greift meistens der Flutstrom über den Scheitel in die Ebbe über, der Ebbestrom über den Niedrigwasserstand in die

Flut. Die auflaufende Flut staut auch das Oberwasser des Flusses zurück, an einer Stelle strömen von oben und unten gleich große Wassermengen zu, der Wasserstand hebt sich ohne Strömung, Grenze des Flutstromes; hier bildet sich gewöhnlich die obere Barre.

Die Geschwindigkeit v der Flutwelle in einem regelmässigen Kanal bei der Tiefe h des Schwerpunkts der Wassermasse unter dem Spiegel

ist näherungsweise $v = \sqrt{2g \frac{h}{2}}$, wo $g = 9,81$ m/sk die Erdbeschleunigung ist.

Der Wellenberg läuft wegen der gröfseren Tiefe schneller als das Wellental, daher wird die Flutdauer flussaufwärts immer kürzer. Bei starker Flut und geringer Wassertiefe holt der Wellenberg das Wellental ein, und es bildet sich eine brandend fortschreitende „Bore“. — Für die Beurteilung des Zustandes eines Flusses kommen die Hoch- und Niedrigwasserlinien in Betracht, d. h. die Verbindung der Wellenscheitel und -Täler längs des Laufes; diese Wasserstände sind aber nie gleichzeitig. Die Fluthöhen einzelner Sturmfluten sind besonders an den stromaufwärts gelegenen Punkten von den Wasserständen der vorhergehenden Flut abhängig.

Grundsatz für die Verbesserung von Flufsmündungen im Flutgebiet ist, die lebendige Kraft der einlaufenden Flutwelle, d. h. Wassermenge und Geschwindigkeit, möglichst zu erhalten. Deshalb müssen alle Hindernisse der Bewegung möglichst beseitigt werden: scharfe Krümmungen, Stromspaltungen, Barren, Wechsel in der Querschnittgröße und Gestalt, Rauigkeit des Bettes (z. B. durch Buhneinebauten).

Für die Handelsinteressen ist es vorteilhaft, die Vertiefung durch die Tideströmung möglichst weit flussaufwärts auszudehnen. Bauliche **Hilfsmittel** zur Verbesserung sind:

Durchstiche und Abgrabungen zur Beseitigung von Krümmungen — gewöhnlich nur im oberen Teil des Flutgebiets ausführbar —, Querschnitte voll auszuheben.

Absperrungen von Nebenarmen, stets am oberen Ende; große Nebenarme bleiben als Spülbecken für die untere Strecke offen, kleine werden mit Baggergut zugeschüttet. Festlegung des Niedrigwasserbettes, um die gesamte Wassermenge vor und nach NW in einheitlichem, möglichst schlankem, glattem Bett zu dessen Räumung zusammenzuhalten (Leitwerke in NW-Höhe).

Baggerungen sind während der Bauausführung, zur Beseitigung fester Bodenschichten und plötzlich eintretender Versandungen (nach Sturmfluten oder Fluthochwasser) und zur Vermehrung der durch die natürliche Spülung erzeugten Tiefe noch weiter flussaufwärts am Platze; sonst gewöhnlich zu kostspielig.

Bauentwurf in Karten in verschiedenem Maßstab 1:100 000 bis 1:50 000 (Übersichtsplan), 1:20 000 bis 1:10 000 (Hauptplan), 1:2000 bis 1:5000 (Ausführungsplan) einzutragen. Karten mit Horizontallinien (Tiefenlinien), die auf NN bezogen sind, versehen; Peilung der Tiefen bei Querschnitten bis 400 m Breite mittels Peilleine unter genauer Zeitangabe und gleichzeitiger Beobachtung der Pegel. Bei größeren Breiten von gleichmäßig laufenden Ruder- oder Motorbooten aus, die sich in festgelegten Richtungen nach Landmarken oder nach dem Kompaß bewegen und in kurzen Zeiträumen vom Lande aus mittels Theodoliten, vom Boot aus mittels Sextant eingemessen werden; die zwischen die eingemessenen Punkte fallenden Tiefenmessungen werden gleichmäßig verteilt.

Ferner werden die Flutkurven (Höhen 1:20 bis 1:25) mit selbstaufzeichnenden Pegeln für eine Anzahl der wichtigeren Punkte längere Zeit hindurch festgestellt, um danach die mittlere Flutkurve jedes Ortes und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des HW zu bestimmen.

Hieraus sind einzelne Hindernisse der Flutbewegung zu erkennen, das hydraulische Vermögen an jeder Stelle zu bemessen und die durch die Regelung zu erreichende HW- und NW-Höhe, die Vermehrung der Wassermenge, die neue Sohllage und die Gestalt der Querschnitte zu ermitteln.

Seekanäle.

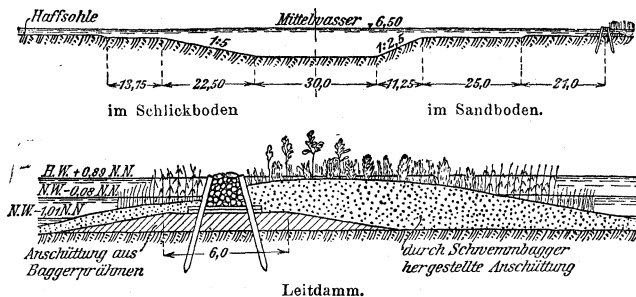
Seekanäle sind künstliche, von Flufsmündungen unabhängige Wasserstraßen für die große Seeschifffahrt; Seeleichterverkehr und Küstenschifffahrt zählen hierbei nicht mit. Sie bilden teils Verbesserungen

Kaiserfahrt zwischen Swinemünde und Stettin 7 m Tiefe, 120 m Breite (allmählich auf 230 m zu vergrößern).

Königsberger Seekanal, 6,5 m Tiefe unter MW, 30 m Sohlbreite ohne Schleusen. Ausweichstellen 320 m lang, für größere Schiffe. In den Krümmungen Verbreiterungen der Sohle auf 40 m.

Abb. 126 u. 127.

Querschnitt des Königsberger Seekanals



Petersburger Seekanal, gebaggerte Rinne bis Kronstadt von 84 m Breite und 6,5 m Tiefe ohne Schleusen. Soll auf 8,5 m vertieft werden.

Abb. 128.



Amsterdamer Seekanal. Von der Nordsee zur Zuidersee mit zwei Schleusenabschlüssen. Sohlbreite 25 m, Spiegelbreite 60 m, Tiefe 8,5 m. Geplant Vertiefung auf 9,5 m, Verbreiterung der Sohle auf 50 m, des Spiegels auf 110,65 m mit einem Querschnitt von 788 qm.

Drei Schleusen bei Ymuiden:

Länge	60,00 m	120,00 m	215,00 m
Breite	12,50 m	18,00 m	25,00 m
Tiefe	—	—	9,50 m

Drei Schleusen nach der Zuidersee:

Länge	93,00 m	73,00 m	73,00 m
Breite	21,75 m	10,50 m	10,50 m

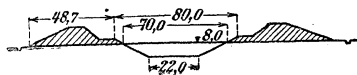
Der Seekanal nach Manchester. Schleusenkanal mit fünf Haltungen, deren unterste in Höhe des mittl. HW des Mersey liegt und durch drei Schleusen zugänglich ist

Länge	182,90 m	106,70 m	45,70 m
Breite	24,38 m	15,24 m	9,14 m
Tiefe	8,82 m	—	—

Bei höheren Wasserständen tritt das HW durch die Schleusen, zwei Schützenwehre von je 6 m Breite und drei Ueberfallwehre von je 90 m Länge in den Kanal. Dieser ist durch Tondämme mit Bruchsteinverkleidung gegen den Mersey abgeschlossen. Die weiteren Doppelschleusen haben 5,03 m bis 3,96 m Gefälle und Abmessungen wie die beiden größeren des Zugangs. Speisung durch den Irwell und Mersey.

Sohlbreite 36,6 m, Spiegelbreite 52,4 m. Wassertiefe 7,92 m. Querschnitt 352 qm, Böschungen in Erde 1:1,5 mit Steinabdeckung, in Fels 6:1. Oberste Haltung als Hafen von 51,84 m Sohlbreite.

Abb. 129.



Seekanal von Brügge. Von der Nordsee bei Zeebrügge nach Brügge. Flutwechsel 4,5 m. Abschluss durch eine Schleuse von 20 m lichter Weite und 158 m Länge. Drempeltiefe 9,50 m bei Hochwasser. Schiebetore. Kanal hat 22 m Sohlbreite, 70 m Spiegelbreite und 8 m Wassertiefe.

Seekanal Brüssel—Antwerpen. Schleusenkanal mit vier Schleusen; oberste Haltung 15 m über der Scheide, Sohlbreite 20 m, Wassertiefe 6.5 m.

Suez-Kanal. Offener Durchstich ohne Schleusen 34.5 m Sohlbreite, 8.5 m Tiefe bei Springtide, 77 m Spiegelbreite, 474 qm Wasserquerschnitt.

Panama-Kanal. Im Bau. Geplant 60.8 m Sohlbreite, 12.46 m Tiefe. Scheitelhaltung 25.8 m über den Endhaltungen. Schleusenabmessungen: 274 m lang, 29 m breit, 12.5 m tief beschlossen; vorgeschlagen waren 305 m Länge, 30.5 m Breite.

V. LANDWIRTSCHAFTLICHER WASSERBAU. *)

A. Ent- und Bewässerung von Ländereien.

Entwässerung läßt sich erreichen 1. durch Beschaffung und Erhaltung des natürlichen Gefälles des Wassers, und zwar a) durch Instandsetzung und Unterhaltung der Gräben, Bäche und Flüsse (Kräuten und Räumen); b) durch Erweiterung von Durchlässen und Brücken; c) durch Regelung und Bändigung der Wasserläufe; d) durch Beseitigung oder Tieferlegung von Stauwerken und Anlage von Flutgräben und e) durch Tieferlegung von Teich- und Seespiegeln; 2. auf künstlichem Wege a) durch Hebung des Wassers; b) durch Versenken des Wassers in tief gelegene wasserführende Schichten oder c) durch Aufhöhen des zu entwässernden Landes.

Die Entwässerung einzelner Ländereien erfolgt durch offene Gräben, verdeckte Gräben (Drainagen), unter Umständen durch Anpflanzungen.

I. Entwässerungsanlagen.

a) **Schöpfwerke** zur künstlichen Hebung des Wassers kommen hauptsächlich an den eingedeichten Niederungen großer Flüsse und des Meeres vor. Sie haben meist Auslaßschleusen (Siele) zur natürlichen Entwässerung, soweit diese möglich ist, mitunter Einlaßschleusen zur Erhöhung des Binnenwasserstandes. Durch Randgräben wird der Zufluß fremden Wassers, das noch natürliche Vorflut hat, von der Niederung abgehalten. Größere Seitenzuflüsse werden auch durch Deiche begrenzt und quer durch die Niederung dem Hauptfluß zugeführt. Am tiefsten Punkt der Niederung wird das Schöpfwerk errichtet. Allen dahin führenden Gräben sind reichliche Abmessungen zu geben, um Gefälleverluste zu vermeiden und dem Schöpfwerk dauernden Zufluß zu verschaffen. Bei stark wechselndem Wasserstand im Tidegebiet hebt die Schöpfmaschine zur Ersparnis an Hubhöhe in einen Wasserbehälter (Busen), der sich bei niedrigem Aufsenwasser entleert. Bei der Berechnung der Wassermenge unterscheidet man die Frühjahrsentwässerung zur Beseitigung der aufgespeicherten winterlichen Niederschläge und die Sommerentwässerung zur Beseitigung

*) Tolkmitt: Grundlagen des Wasserbaues. Berlin. — Post: Ueber die verschiedenen Arten von Dampfschöpfwerken. Z. f. B. 1894. — Danckwerts usw.: Die Kindeichung und Entwässerung des Memeldeltas, Z. f. B. 1902. — H. d. I. III, Bd. VII 1907. — H. d. B. III, Abt. 2, Herst. d. Wasserb. — Neues Dampfschöpfwerk bei Rotterdam, Z. d. V. d. I. 1902 S. 341. Z. d. A. u. I.-V. zu Hannover 1885 S. 258. — Gerhardt: Z. d. B. 1890 S. 167, 1891 S. 326, 1892 S. 181 u. 196 — Tolle: Z. d. A. u. I.-V. zu Hannover 1887 S. 349.

starker Regenmengen (u. zw. Platzregen oder Landregen) in kurzer Zeit bei hohem Aufsenwasser. Dazu kommt in beiden Fällen das durch den Ueberdruck zugeführte Drängewasser, und das verdunstende Wasser geht ab. Die Schöpfzeit richtet sich nach den Witterungsverhältnissen, der Kulturart und dem Vegetationsbeginn; durchschnittlich 10 bis 30 Tage. Anfang März oder Mitte April soll das Land gewöhnlich wasserfrei sein. Solange starke Fröste drohen, und bei sehr hohem Aufsenwasser wird nicht gepumpt.

Bei mäßigem Drängewasserzutritt ist im Durchschnitt bei kleinen Poldern auf 0,8 l/sk für 1 ha zu rechnen, bei großen auf 0,3 l/sk. Der gewöhnliche Binnenwasserstand kann angenommen werden:

bei Wiese auf etwa 0,3 bis 0,4 m unter Gelände.

„ Weide „ „ 0,5

„ Acker „ „ 1,0 „ 1,25 „ „ „

Dabei ist auf die Senkung des Bodens durch Trockenlegen zu achten.

Das Schöpfwerk besteht aus der Wasserhebe- und der Kraftmaschine. Als Wasserhebemaschinen werden angewendet:

1. Wasserschnecken a) ummantelte bis 4,5 m Hubhöhe (30 bis 330 Neigung, bis 8 m Länge, 3 bis 4 Schraubengänge bei $2R=0,2$

bis 1 m Durchmesser;

unteres Lager zu heben,

damit Luft eintreten

kann); b) offene bis 3,0 m

Hubhöhe (bis 10 m Länge,

2 bis 3 Schraubengänge,

bis $2R=2$ m Durch-

messer); in Holz oder

Eisen, Mantel in Holz

oder Stein. Umlaufzahl

$n < \frac{21}{R}$ in der Minute;

Wirkungsgrad $\eta = 0,75$

bis 0,90 (vgl. II. Bd.

S. 596).

2. Wurfräder. Aus

Holz in 0,45 bis 0,60 m

Breite mit 5 bis 6 m

Höhe; aus Eisen bis 2,25 m Breite und 8 m Höhe ausgeführt. Innen

offen; Hebung bis zur Achse möglich; im allgemeinen bei geringer

Hubhöhe (1,5 bis 2 m), großer Wassermenge und wenig veränder-

lichem Wasserstand zweckmäßig. Eintauchtiefe 0,6 bis 0,9 m,

Umfangsgeschwindigkeit $u > 0,65$ m/sk; am besten 2 bis 2,5 m/sk.

Wirkungsgrad $\eta = \sim 0,5$. Pumpenräder gestatten wegen der inneren

Trommel Hebung bis zum Radscheitel; $u = 1$ bis 1,5 m/sk,

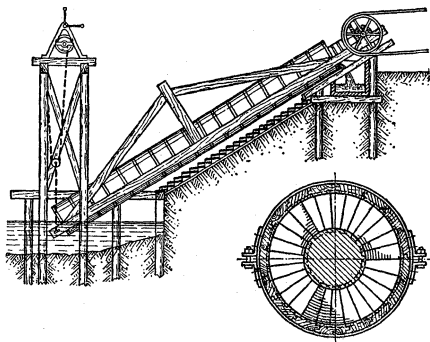
$\eta = 0,58$.

3. Schleuder- und Kreiselpumpen mit liegender Welle (über Unter-

wasser) oder stehender Welle. Schleuder- und Kreiselpumpen sind für

mittlere und große, auch für stark wechselnde Druckhöhen anzuwenden,

Abb. 130 u. 131.
Ummantelte Wasserschnecke.



erfordern geringe Gründungskosten und sind betriebsicher. Wirkungsgrad etwa $\eta \geq 0,8$. Berechnung vgl. II. Bd. S. 599.

4. Kolbenpumpen sind wegen der starken Abnutzung wenig mehr im Gebrauch.

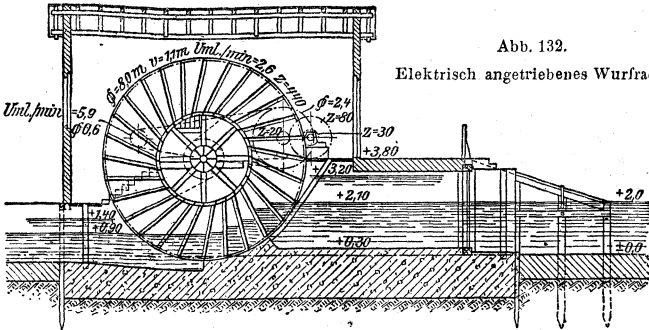
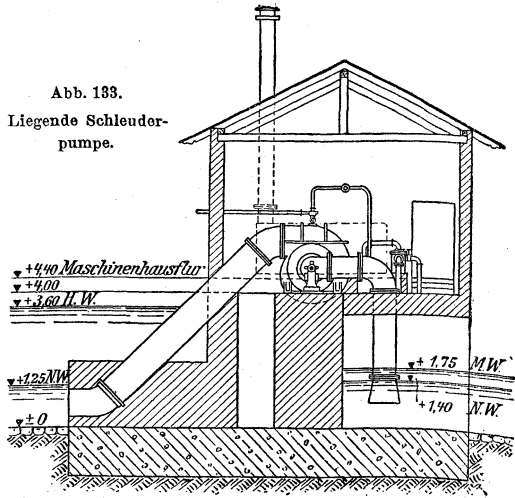


Abb. 132.

Elektrisch angetriebenes Wurfrad.

Kraftmaschinen. Für Schöpfwerke sind Göpelwerke, Windräder, Dampfmaschinen oder Explosionsmotoren in Gebrauch. Berechnung der Windräder s. II. Bd. S. 2. Man kann 200 bis 230 Betriebstage rechnen. Leistung einer großen Windmühle von 22 bis 28 m Flügellänge durchschnittlich 54,7 cbm in der Minute. In Holland werden 550 bis 700 ha für eine Mühle gerechnet; kleine deutsche Windmühlen von 12 bis 20 m Rutenlänge entwässern je nach der Menge des Drängewassers 60 bis 200 ha.

Abb. 133.
Liegende Schleuder-
pumpe.

Im Binnenlande weht durchschnittlich während 6 bis 10 Stunden an 250 bis 300 Tagen ein Wind mit mindestens 3 bis 4 m/sk,

170	180	"	"	"	"	5	"
110	120	"	"	"	"	6	"
60	70	"	"	"	"	7	"

Bei der Berechnung werden etwa 4 bis $4\frac{1}{2}$ m in Rechnung gestellt (an der Küste 6 bis 7 m). Der Winddruck beträgt bei

2 m/sk	Windgeschwindigkeit	0,49 kg/qm
3	"	1,10
4	"	1,96
5	"	3,06
6	"	4,40
7	"	6,00
8	"	7,84

Als Reservemotoren werden Pferdegöpel oder Explosionsmotoren gewählt.

Dampfmaschinen sind für größere Entwässerungsanlagen am gebräuchlichsten.

b) Die Wasserableitung durch **Versenken** geschieht entweder durch sehr zahlreiche Bohrlöcher, 5000 bis 6000 auf 1 ha, die bis in die

Abb. 134 u. 135.
Stehende Kreiseispumpe.

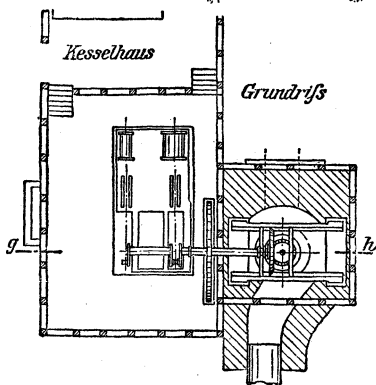
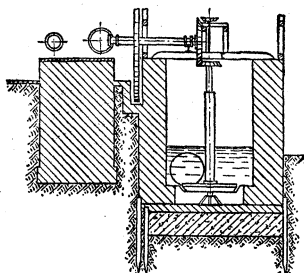


Abb. 136.
Versenkbrunnen.

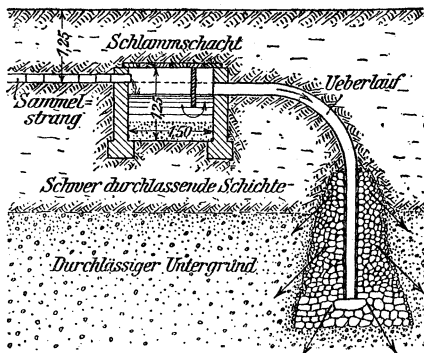
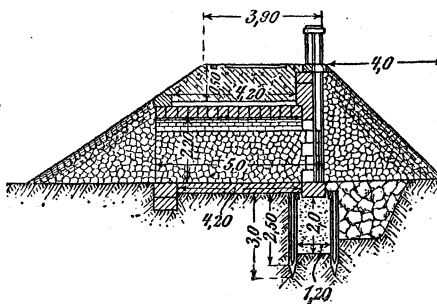


Abb. 137.
Einlaßschleuse.

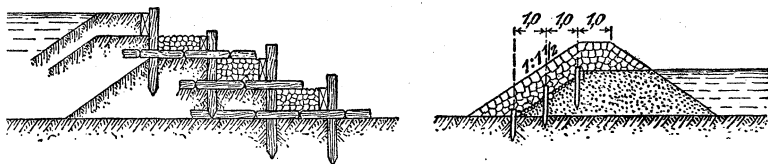


durchlässige Schicht reichen, oder durch Vereinigung in einem Sammelschacht mit Schlammfang, von dem aus das Wasser durch einen Brunnen in den Untergrund geleitet wird.

c) Die **Auflandung (Kolmation)** von Ländereien wird angewendet, wenn ein Absenken des Wassers nicht ausführbar ist. Sinkstoffhaltiges Wasser wird auf die durch niedrige Dämme in Abteilungen zerlegte Fläche geleitet und nach Klärung abgelassen; die jährliche Auflandungshöhe schwankt zwischen 1 und 50 cm. Die Dämme er-

Abb. 188 u. 189.

Ueberläufe.



halten Einlaßschleusen und Ueberfälle. Die Zuleitungskanäle sind so zu bemessen, daß das Wasser die Sinkstoffe mit fortführt, bei größeren Kanälen für leichten Schlamm, Gefälle $J=0,5 \text{ vT}$, bei kleineren 3 bis 4 vT; für Sand 2 vT bzw. 10 vT. Kronenbreite der Umfassungsdämme 1 bis 1,5 m, der Zwischendämme 0,75 bis 1 m, Höhe 0,4 bis 0,6 m über HW. Mitunter führt man dem Wasser künstlich Sinkstoffe zu und benutzt es hauptsächlich als Beförderungsmittel.

II. Entwässerung durch offene Gräben.

Zur Entfernung von Oberflächenwasser ist gewöhnlich nur ein wenig verzweigtes Netz flacher Gräben in den Geländemulden nötig. Zur Entfernung von Grund- und Oberflächenwasser tiefere Gräben in regelmäßigen Abständen, je nach Niederschlagsmenge, Gefälle, Bodenart und Kultur, bis 20 m herab; Hauptgräben möglichst gerade, um gute Felderteilung und Wegeverbindungen zu erhalten. Zur Ableitung fremden Wassers Randgräben. Mitunter Trennung des Grabennetzes von verschiedenen hoch gelegenen Gebieten. Wenn Gräben auch zur Bewässerung dienen sollen, Gefälle gering. Die Querschnitte werden gewöhnlich nicht für Winter-Hochwasser und aufergewöhnliche Sommer-Hochwasser berechnet. Die Größe und Form des Niederschlagsgebietes ist aus Karten mit Höhenlinien zu entnehmen, die Niederschlagshöhe aus meteorologischen Beobachtungen. Die Menge des versickernden Wassers ist nach dem Gefälle, der Durchlässigkeit und Kulturart des Bodens zu schätzen. Bei kleineren Gebieten im Hügelland wird meist verlangt, daß die Gräben den Regenfalle eines Tages hT in m, nach Abzug des durch Versickerung und Verdunstung verloren gehenden Teiles innerhalb eines Tages abführen.

Die Wassermenge ergibt sich dann zu

$$\frac{1000 \cdot 1000}{24 \cdot 60 \cdot 60} (hT - \text{Verdunstungshöhe} - \text{Versickerungshöhe}) \text{ in } \frac{\text{cbm}}{\text{qkm u. sk}}$$

In ebenerem Gelände rechnet man, daß die monatliche Regenhöhe hM in einem halben Monat abgeführt wird, woraus sich die Wassermenge zu $\frac{1000 \cdot 1000}{15 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} \cdot (hM - \text{Verluste})$ ergibt. Bei großen Gräben im Flachlande fordert man, daß der Jahresniederschlag in 3 Monaten abfließen kann, wobei für Verdunstung und Versickerung reichliche Abzüge statthaft sind.

Grabenböschung in Ton- und Leimboden	1:1 $\frac{1}{4}$
„ in sandigem Lehm	1:1 $\frac{1}{2}$
„ in Sand	1:2
„ in lockerem Sand	1:2 $\frac{1}{2}$ — 3.

Böschungen möglichst zu berasen. Sohlbreite mindestens 0,3 m. Doppelquerschnitte bei sehr großen Wassermengen, wenn Niedrigwassersenkung zu vermeiden. Brücken womöglich ohne Einschränkung des Grabenquerschnitts, mit befestigten Böschungen.

Bestimmung der Querschnitte z. B. nach Schüngel, Tafeln zur graph. Ermittl. d. Wassergeschw.

III. Drainagen.*)

Drainagen sind unterirdische Entwässerungen; Steindrainagen aus Rund- oder Plattensteinen und Holzdrainagen aus Reisig, Stangen oder Brettern, in Mooregegenden auch aus Torf, werden nur vereinzelt angewendet; meist kurze gebrannte Tonröhren. Die Sauger entziehen durch ihre Stoffsugen das Wasser dem Boden und führen es durch die Sammler dem Vorflutgraben zu.

Grabenquerschnitte so, daß MW unter der Ausmündungshöhe der Sammler und HW mindestens bordvoll abfließen kann. Wassermenge von der Ausdehnung, Form, Sonnenlage, Neigung, Höhenlage, Bodenbeschaffenheit und Kultur abhängig. Für Gräben und kleinere Bäche ist als abzuführende HW-Menge anzunehmen: in ebenem Gelände 65 bis 110 l/sk für 1 qkm Niederschlagsgebiet, in hügeligem Gelände 110 bis 200 l/sk für 1 qkm Niederschlagsgebiet. Grabengefälle möglichst gleichmäßig und nicht unter 0,4 ‰; bei sehr starkem Gefälle Abfälle einbauen oder Sohlbefestigung. Sohlbreite möglichst größer als 0,50 m, nie unter 0,40 m. Böschungneigung nach Bodenbeschaffenheit, im allgemeinen nicht steiler als 1:1,5.

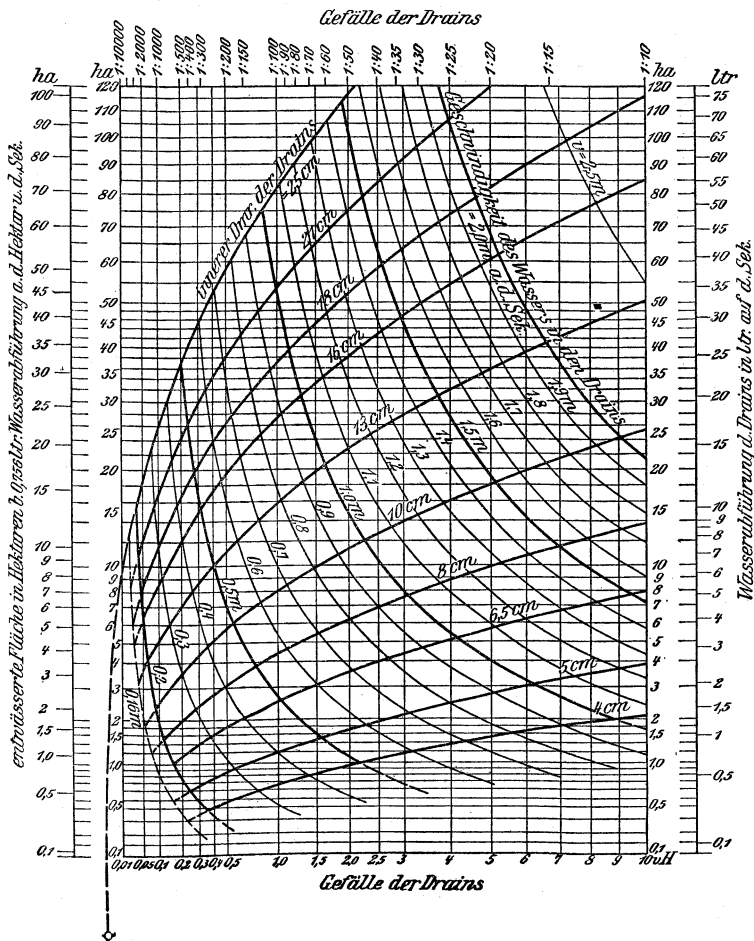
Sammler. Alle Rohrstränge, die das Wasser nach einem gemeinsamen Ausgusse leiten, bilden ein System; dieses paßt sich der Oberflächengestalt an und wird so groß gemacht, als die Weite der vorhandenen Röhren gestattet; lichte Weite gewöhnlich ≤ 16 cm; Länge der Sammler möglichst unter 1000 m; Doppelleitungen in Saugerentfernung; Rohrweiten unter 5 cm und über 21 cm ausgeschlossen; Tiefenlage richtet sich nach den Saugern. Wenn im unteren Teile frostfreie Lage nicht erreicht werden kann, müssen offene Stichgräben angewendet werden. Wassermenge für gewöhnliche Bodenarten = 0,65 l/sk für

*) H. d. I. 1907. III. 7. Bd. § 39 u. f. — Anweisung für Drainageentwürfe, von der Generalkommission für Schlesien. — Mitteil. d. Vereins z. Fördg. der Moorkultur. — Der Kulturtechniker. — Z. d. B. 1891 S. 221, Gerhardt, Umgestaltung der Drainagebauten. — Oesterr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1902 S. 408, Kornella, Mechan. Bodenapl. — Kopecky, Bodenunters. z. Zwecke der Drainagearbeiten. Prag 1901.

1 ha bei ebenem Gelände mit geringen jährlichen Niederschlagshöhen, = 0,8 l/sk für 1 ha bei gebirgigem Gelände mit größeren Niederschlagshöhen in Mitteldeutschland.

Bei sehr schweren Bodenarten können die Abfluszzahlen bis auf 60 vH vermindert werden, bei sehr durchlässigen steigen sie bis aufs Doppelte. Gefälle möglichst gleichmäßig zu verteilen; besonders Ab-

Abb. 140. Gerhardsche Tafel zur Bestimmung der Drainrohrweiten.



nahme der Wassergeschwindigkeit zu vermeiden. Zur Verhütung von Ablagerungen muß die Geschwindigkeit 0,16 bis 0,2 m/sk betragen, daher Mindestgefälle bei 4 cm Durchmesser 0,25 vH, bei 5 bis 6,5 cm Durchmesser 0,20 vH, bei mehr als 8 cm Durchmesser 0,15 vH.

Rohrweiten nach der Tafel.

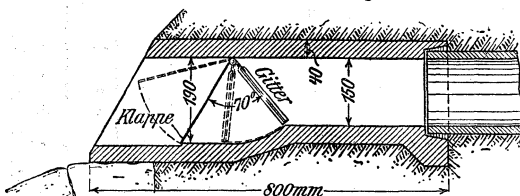
Höchstgeschwindigkeit wegen der Gefahr der Unterspülung 1,0 bis 1,5 m/sk. Bei Ueberschreitung Absturze oder Fallkessel einlegen oder

Abb. 141.



Abb. 142.

Breitenbachs Zementausmündungssattel.



Sammler im Zickzack führen. Ausmündung 0,20 m über Grabensohle, 0,80 m unter Gelände, möglichst unter 45° zur Grabenachse gerichtet, etwa 25 cm in den Graben vorspringend, mit Abschlussgitter oder bei Rückstau mit Klappe. Gräben und Wege — ausgenommen Wirtschaftswege — werden mit Muffenrohren unterfahren.

Sauger in der Richtung des stärksten Geländegefälles, wenn dieses

unter 1:250 bis 1:300 beträgt, (Längsdrainage) bei stärkerer Neigung schräge, Querdrainage). Uebliche Tiefe bei Wiesen 1,0 m, selten unter 0,9 m; bei Ackerland 1,25 m bis 1,4 m. Tiefwurzelnde Pflanzen (Erbsen, Luzerne, Zuckerrüben) verlangen 1,50 m; Hopfen, Wein, Obstbäume 1,8 bis 2,0 m. Strangentfernung von der Tiefe und der Durchlässigkeit des Bodens abhängig. Bei einer Tiefe von 1,25 m bei Aeckern und 1,0 m bei Wiesen und bei geringerem Geländegefälle als 1:250 bis 1:300 ist die Strangentfernung anzunehmen:

in mildem Sandboden	zu 24 bis 30 m
„ lehmigem „	„ 20 „ 24 „
„ sandigem Lehm Boden	„ 16 „ 20 „
„ gewöhnlichem Lehm Boden mit Steinen	„ 14 „ 16 „
„ schwerem Lehm Boden	„ 12 „ 14 „
„ schwerstem Tonboden	„ 10 „ 12 „

Schliefsand und eisenschüssiger Boden erfordern kleine Strangentfernung. Bei größerer Tiefe größere Entfernung, bei stärkerer Geländeneigung Vergrößerung der Entfernungen bis zu 20 vH. Zur genauen Festsetzung der Strangentfernung dient die Untersuchung des Bodens auf abschlämbare und tonige Teile mit dem Kühnschen Schlammzylinder.

Gefälle nie unter 0,25 vH, Länge nicht über 150 m, höchstens 200 m, Durchmesser gewöhnlich 4 cm. Keine Kreuzung von Wasser-

läufen und Wegen (ausgenommen Wirtschaftswegen). Einmündung in die Sammler von oben; von Bäumen 15 bis 20 m abbleiben oder gedichtete Muffenrohre verwenden. Quellen oder wasserführende Schichten am oberen Ende eines Grundstücks erhalten besondere Ableitungen nach dem nächsten Sammler oder Vorflutgraben, was mitunter allein zur Entwässerung ausreicht (Quelldrainage).

Abb. 143.

Einmündung eines Sangers in einen Sammler.

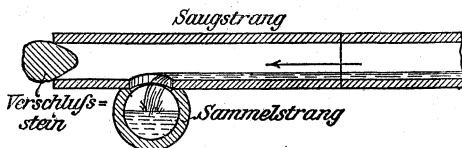
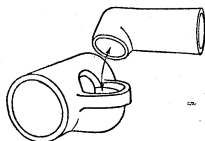


Abb. 144.

Lienertsches Röhrenschloß.



Vorentwurf für Bildung von Drainagegenossenschaften besteht aus:

1. Uebersichtsplan 1:25 000, worin das Genossenschaftsgebiet rot angelegt und umrandert, die Vorfluter mit blauen Linien mit Pfeilen in der Gefällrichtung versehen und die Niederschlagsgebiete mit rot punktierten Linien bezeichnet sind.

2. Lageplan, nicht unter 1:5000, mit Höhenzahlen und an schwierig zu entwässernden Stellen mit Höhenlinien; er enthält die vorhandenen und neuen Vorfluter, die Begrenzung der Systeme (rot gestrichelt), die Sammler unter Angabe des Gefälles in kräftigen blauen Linien sowie die Höhen der Gefällwechsellpunkte, die Richtung der Sauger durch blaue Pfeile, die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen mindestens bis zu 1,5 m Tiefe, die Festpunkte und Ordinaten der Ausmündungen der Systeme und der Grabensohle und das mit rotem Streifen umranderte Genossenschaftsgebiet.

3. Höhenplan und Querschnitte der Vorfluter.

4. Erläuterungsbericht mit Nachweisung der Leistungsfähigkeit der Grabenquerschnitte für Vorfluter von mehr als 150 ha Niederschlagsgebiet, und Erörterung der gewählten Strangentfernung.

5. Kostenüberschlag nach folgenden Titeln geordnet: Titel I Vorarbeiten, II Grunderwerb, III Vorflutanlagen, IV Erdarbeiten für die Rohrgräben, V Beschaffung der Röhren, VI Insgemein.

Die Länge der Draingräben nach folgenden Erfahrungssätzen: (auf 1 ha zu drainierender Fläche kommen bei c m Strangentfernung n m Draingräben):

$c = 10$	11	12	13	14	15	
$n = 1100$	1000	915	840	875	730	
$c = 16$	17	18	19	20	22	25
$n = 680$	635	600	575	550	500	425.

Hiervon kommen, wenn auf 1 m 3,3 Stück Röhren (mit Bruch) gerechnet werden (Rohrlänge 31 cm), auf Röhren von

4 cm	5 cm	8 cm	10 cm	13 cm	16 cm	Dmr.
80	10	5	2,5	1,5	1	vH,

wovon je 1000 Stück wiegen

0,95 1,25 2,35 3,20 4,80 7 t.

6. Teilnehmerliste.

B. Bewässerung.

Bewässerung von Ländereien dient dazu, die Feuchtigkeit des Bodens zur rechten Zeit zu erhöhen, mineralische und organische Stoffe dem Boden zuzuführen (düngende Bewässerung), zur Reinigung des Bodens von Humussäuren, schädlichen Salzen, Ungeziefer (Rebläusen, Engerlingen, Mäusen u. dgl.), zur Regelung der Bodenwärme und zum Schutz vor Spätfrosten.

Bewässerung ist am Platze bei zu geringen oder zu unregelmäßigen Niederschlägen. In Deutschland kommen im allgemeinen nur Wiesenbewässerungen in Frage. An Bodenarten sind durchlässige Sand- und Lehmböden und tonige Böden auf durchlässigem Untergrund bewässerungsfähig. Häufig muß eine künstliche Entwässerung damit verbunden werden. — Schädlich sind manche Fabrikwasser, Moorwasser, Salzquellen; erwünscht ist hoher Gehalt an gelösten und schwebenden Stoffen mit Kali, Kalk, Phosphor, Schwefel und Salpeter (chemische Untersuchung). Die im Wasser wachsenden Pflanzen geben einen Hinweis auf die Art des Wassers. Fadenalgen, Brunnenkresse, Ehrenpreis, Laichkraut, Wassersüßgras usw. finden sich in gutem Wasser; Halbgräser, Riedgräser, Binsen, Simsen, Wasserminze, Froschlöffelgewächse deuten auf nährstoffarmes Wasser.

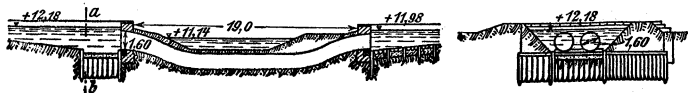
Der Wasserbedarf richtet sich nach Klima und Bodenverhältnissen und ist sehr verschieden. Für anfeuchtende Bewässerung im Mittel 1 l/ha und sk, für düngende 10 l/ha und sk, unter Umständen bis 100 l/ha und sk. Das Wasser kann wiederholt benutzt werden, wodurch sich die jedesmal verwendete Wassermenge steigert und gleichmäßige Verteilung ermöglicht wird; die Flächen werden in zweckmäßiger Reihenfolge wiederholt bewässert. Die Verluste durch Verdunstung, Versickerung und Verbrauch betragen 10 bis 30 vH.

Die Beschaffung des Wassers erfolgt durch Ableitung aus Wasserläufen — meist mit Stauanlagen, seltener durch Schöpfbuhnen — oder aus Seen oder künstlichen Sammelbecken, oder aus dem Grundwasser, durch Quellen oder artesischen Brunnen. Künstliche Wasserhebung durch tierische, Dampf-, Wasser- oder Windkraft. Mitunter sind längere Zuleitungskanäle nötig, Querschnitt und Gefälle so, daß weder Ablagerungen noch Angriffe auf die Wandungen vorkommen. Dichtung und Kunstbauten, wie bei Schiffahrtskanälen; statt hoher Dämme und Aquadukte dükerartige Unterleitungen.

Arten der Bewässerung sind:

a) die **Einstauung**, wobei der Boden seitlich von den gefüllten Gräben durchfeuchtet wird, bei nicht stark durchlässigem Boden;

Abb. 145 u. 146. Unterleitung.



b) die **Ueberstauung**, wobei das Gebiet durch niedrige Dämme in Flächen von 12 bis 15 ha zerlegt wird, die mit Be- und Entwässerungsgräben versehen sind; in den Becken steht das Wasser kurze Zeit; geringste Wassertiefe 3 cm, grösste etwa 50 cm, bei durchlässigem Boden mit schwachem Gefälle unter 1:1000.

Abb. 147 u. 148.
Einstauung.

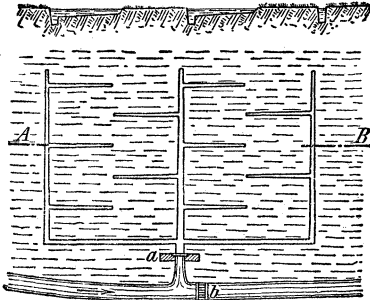
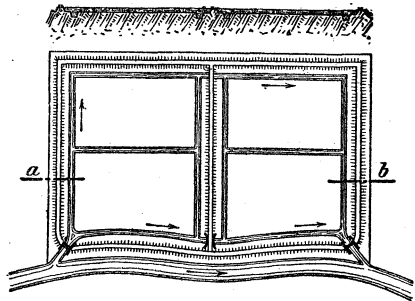


Abb. 149 u. 150.
Ueberstauung.



Bei stärkerem Gefälle **Stauberieselung**, wobei das Wasser in dünner Schicht von 10 bis 20 cm Höhe durch Rinnen verteilt über die 50 bis 100 ha großen Flächen fließt. Abfluss durch Rohre oder über die Krone der Umschließungsdämme. Dämme 0,3 bis 0,4 m über Normalstau.

c) **Berieselung**, wobei das in Beete zerlegte Gebiet in dünner Schicht überströmt wird, Hangbau und Rückenbau.

Natürlicher Hangbau bei ziemlich gleichmäßig geneigten Flächen von 1:30 bis 1:50 Gefälle. Beim künstlichen Hangbau wird das

Abb. 151.
Natürlicher Hangbau.

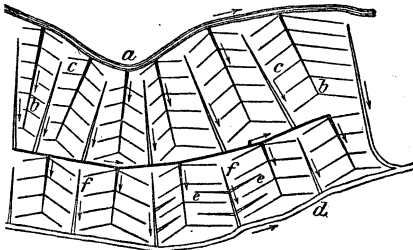
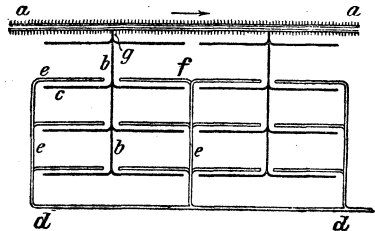


Abb. 152.
Künstlicher Hangbau.



Gelände durch Erdarbeiten regelmäßig gestaltet, Gefälle 1:25 bis 1:12. Beete 5 bis 10 m breit. Hauptzuleitungskanal *aa*, Verteilgräben *bb*,

Rieselrinnen für die Zuleitung *cc*; Entwässerungsrinnen *ff*, Sammelgräben *ee* und Hauptableitungskanäle *dd* für die Entwässerung; Einlässe *gg*.

Breite zwischen dem Hauptzuleitungs- und Hauptableitungskanal bis 100 m; bei größerer Breite Unterteilung durch weitere Zuleitungs-

Abb. 153 bis 155.

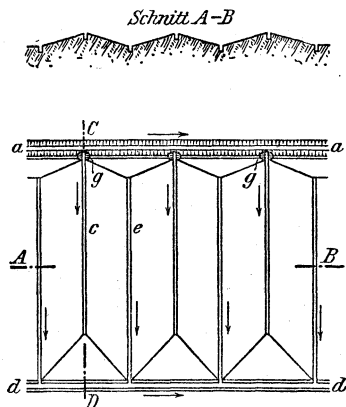
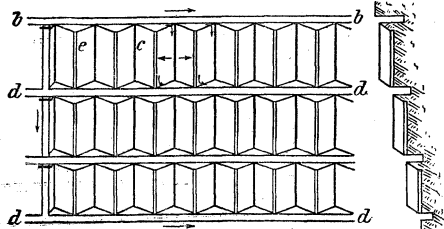


Abb. 156.



mehrfache Benutzung des Wassers. besonders zu achten.

d) Bewässerung durch Drains.

und Ableitungskanäle. Verteilungsgräben meist im stärksten Gefälle, 0,3 bis 0,8 m breit, 0,1 bis 0,3 m tief. Rieselrinnen erhalten Gefälle 1:2000 bis 1:1000, höchstens 1:200; Breite 0,15 bis 0,25 m, Tiefe 0,1 bis 0,3 m. Gleichmäßiges Ueberschlagen durch Verjüngung des Querschnitts. Entwässerungsgräben gleich groß.

Rückenbau bei schwachem Gefälle unter 1:50 für intensivsten Betrieb. Gräben wirken wie die gleichbezeichneten beim Hangbau. Die Rückengräben oder Rieselrinnen haben Gefälle 1:2000 bis 1:∞. Breite 0,25 m, Tiefe 0,05 bis 0,20 m. Jeder Hang eines Rückens wird nach Schnittbreite von 1,8 bis 2,0 m bemessen. Schmale Beete von 7,6 bis 8,5 m bei sumpfigem und lockerem Boden bei reichlichem Rieselwasser. Breite Beete bis 30 m bei wenig Wasser und wenig durchlässigem Boden. Gefälle der Hänge

1:20 bis 1:15, ausnahmsweise 1:50. Länge der Rücken 20 bis 60 m. Verteilungsgräben 0,25 m tief — stets tiefer als Rückengräben —, am unteren Ende 0,60 m breit, nach oben je nach Länge — bis zu 300 m — zunehmend. Wassermenge durchschnittlich 30 bis 40 l/ha und sk. Meist

Auf bequeme Wegeanlage ist

C. Deichbau.*)

Deiche dienen 1. zur Regelung der Flüsse durch Zusammenhaltung des Hochwassers und Verbesserung der Geschiebeführung, und 2. zur landwirtschaftlichen Verbesserung von Niederungen, die unter dem HW-Spiegel von Flüssen oder der See liegen. Nach der Lage sind Flufs- und Seedeiche zu unterscheiden, der Höhe nach Winterdeiche, die alle HW kehren, und Sommerdeiche, die nur Sommer-HW kehren; der Bedeutung nach Hauptdeiche unmittelbar am Flufs oder an der See, Rückdeiche längs der Nebenflüsse, die die Niederung durchqueren, Binnendeiche, die die Niederung in einzelne Abteilungen zerlegen oder fremdes Wasser am Rande der Niederung abführen, Schardeiche, die ohne schützendes Vorland am Strom liegen, Kuver- oder Qualmdeiche, die um tiefe Stellen zur Verminderung des aufsteigenden Drängewassers aufgeführt werden, Flügeldeiche, die oben an den Hauptdeich oder hochwasserfreies Land anschliessen, unten aber frei endigen und vorspringende Deichecken oder stark überströmte Vorländer schützen, den Uebergang verschieden weiter Hochwasserquerschnitte vermitteln, die Einmündung von Nebenflüssen schlank gestalten und deren Rückstau punkt stromabwärts verlegen sollen (Leitdeiche).

Flufsdeiche.

Die Eindeichung von Flusniederungen kann folgende Nachteile haben:

1. die Steigerung der Hochwasserhöhe und Verstärkung der Strömung; unterhalb der Deichstrecke eine Vermehrung der HW-Menge und reichlichere Geschiebezufuhr;
2. die Entziehung der befruchtenden Ueberschwemmungen des eingedeichten Landes;
3. die auslaugende, abkühlende Wirkung des Drängewassers;
4. die allmähliche Verschlechterung der Entwässerung durch Aufhöhung des Flusses oder Sackung des Binnenlandes;
5. die stets wachsenden Deichlasten und Gefahren bei Deichbrüchen.

Neue Deichanlagen sind empfehlenswert, wenn die Vorländer breit sind, so dafs keine grofse Hebung des Wasserstandes zu befürchten ist; wenn die Grundstücke hoch genug liegen und die Ueberschlickung entbehren können; wenn die Niederungen so breit sind, dafs sie ohne Deiche schwer zu bewirtschaften sind; wenn starkes Drängewasser nicht zu befürchten ist, und wenn es zur Flufsregelung nötig ist. Wo Winterdeiche nicht ausführbar, sind Sommerdeiche oft am Platze, die so niedrig wie möglich zu halten sind, — oder Ringdeiche (Worten) für die Gehöfte.

*) H. d. I. 1900. III. 12. Kap. — H. d. B. 1900. III. 2. Heft. — Hagen, Hdbch. d. Wasserbaukunst. — Tolkmitt, Grundlagen der Wasserbaukunst. — Post, Wasserwirtsch. 1. d. norddeutsch. Seemarschen; Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover, 1904. — F. Müller, Das Wasservves. d. niederl. Prov. Zeeland 1898. (S. a. Lit. f. Flufsbau.) — Müller, Regulierung d. Weichselmündung C. d. B. 1895.

Hebung des Wasserstandes durch die Eindeichung. In der Formel (vgl. I. Bd. S. 310, wo auch die Erklärung der Bezeichnungen)

$$v = k \sqrt{R i}$$

nimmt man als Annäherung im Querschnitt vor und nach der Eindeichung $k = \sqrt{\frac{2g}{\rho}}$ als unveränderlich an. Mit den Bezeichnungen nebenstehender Skizze ist für das Ueberschwemmungsgebiet vor der Eindeichung näherungsweise

$$F = b t \quad R = \frac{F}{b} = t$$

$$Q_1 = v F = k \sqrt{i} \sqrt{\frac{F^3}{b}} = k \sqrt{i} b \sqrt{t^3};$$

ebenso für den Flußschlauch

$$Q_2 = k \sqrt{i} B \sqrt{T^3}.$$

Durch die Eindeichung auf die Breite $(B + x)$ steigt das Wasser um h ; dann ist für das Vorland

$$Q_3 = k \sqrt{i} x \sqrt{(t+h)^3}$$

und für den Flußschlauch

$$Q_4 = k \sqrt{i} B \sqrt{(T+h)^3}.$$

Aus $Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$ wird h für einen Wert von x oder umgekehrt, am besten durch Probieren, berechnet. Die Aenderung der HW-Menge infolge der Eindeichung wird gewöhnlich zu vernachlässigen sein, außer wenn sich das HW bei raschem Steigen vor der Eindeichung in weite Niederungen ergießen konnte.

Regeln für die Deichführung. Der Deich muß annähernd gleich mit dem Hochwasserstromstrich laufen.

Zwischen Deichfuß und Fluß soll ein Vorland zur Entnahme von Deicherde verbleiben.

Scharfe Krümmungen sind zu vermeiden, ebenso plötzliche Verengungen oder Erweiterungen des Flußquerschnittes.

Der Deich soll auf festem Boden ruhen; größere Vertiefungen bleiben möglichst aufsen-deichs.

Querschnitt von Winterdeichen. Die Höhe und Stärke richtet sich besonders nach der Gefährdung durch Eisstopfung; gewöhnlich 0,6 m über höchstem

eisfreien Wasser, nicht unter 0,3 m, zuweilen 1,5 bis 3,0 m über diesem. Deichkrone bei kleinen Flüssen 1,5 bis 2,5 m breit, bei großen 2,5 bis 4,0 m. Böschungen aufsen 1:7 bis 1:4, binnen 1:2.

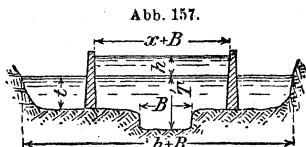


Abb. 157.



Abb. 158.

Winterdeich an einem großen Fluß.

Wege entweder auf der Deichkrone oder auf einem binnenseitigen Absatz; Mindestbreite 4,5 m. Binnen- und Außenberme dürfen nicht

Abb. 159.

Winterdeich an einem kleinen Fluß.

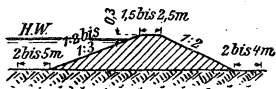


Abb. 160.

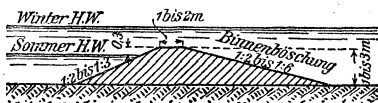
Weichseldelch.



beackert werden; erstere wird an niedrigen Stellen über das Gelände erhöht durchgeführt.

Ueberlaufstellen werden niedriger als der Hauptdeich gelegt und erhalten beiderseits besonders binnenseits sehr flache Böschungen, 1:10 bis 1:20.

Querschnitt von Sommerdeichen. Höhe der Deichkrone wenig über dem gewöhnlichen Sommerhochwasser. Breite der Krone und Neigung sich nach der Dauer der Ueberströmung. Statt Ueberlauf auf dem ganzen Deich bei lange andauerndem Ueberlauf besondere Ueberlaufstrecken mit flachen Binnenböschungen, die 0,5 m tiefer liegen als der übrige Deich, der steilere Böschungen erhält.

Abb. 161.
Sommerdeich.

Deichrampen aufsen stromab gerichtet, binnen beliebig, Steigung und Breite je nach dem Verkehr.

Durchfahrten durch Deichlücken für erheblichen Verkehr, in Steinbau mit doppelten Dammbalkenfalzen, bei größeren Weiten mit einsetzbarer Mittelstütze und tieferreichender Herdmauer.

Herstellung der Deiche in dünnen Lagen, die festgerammt (Sandboden) oder festgeritten werden (Lehmboden), auch Walzen mit Antrieb durch Pferde; Dampf- oder Verpuffungsmaschinen vorteilhaft. Weicher Untergrund wird am besten nach Aufschlitzung des Bodens und Beseitigung der Rasendecke durch hohe Aufschüttung verdrängt; weniger zuverlässig ist es, ihn auf die Rasendecke zu setzen. Um ein Anbinden zu bewirken, ist der Rasen abzudecken, der Untergrund von Wurzeln, Schlamm u. dgl. zu reinigen und umzupflügen. Bei der Durchdeckung von Flusssarinen sind zunächst Sperrdämme aus Faschinen oder Steinen neben dem Deich zu machen.

Die Außenböschung erhält womöglich eine Lehmabdeckung, 0,3 bis 1 m stark; darüber eine dichte Rasendecke. Rauhwehr und Strohbestückung werden seltener verwendet; Steinpflaster nur an besonders gefährdeten Stellen oder bei sehr steilem Deich ohne Vorland, 20 bis 40 cm stark, auf 15 bis 30 cm starker Bettung aus Kies oder Steinschlag; auch Kiesbeton kommt bei steilen Deichen vor.

Seedeiche.

Seedeiche sind so anzulegen, daß sie möglichst nicht von dem Wellenschlag bei Sturmflut getroffen werden; daß ein möglichst breites Vorland verbleibt; daß sie auf gutem Untergrund ruhen und keine scharfen Ecken erhalten. Die eingedeichte Fläche muß deichreif sein, d. h. 0,30 m über gewöhnlicher Flut liegen.

Querschnitt der Seedeiche. Die Höhe der Krone muß 0,3 bis 0,5 m über dem Kamm der Wellen bei der höchsten Sturmflut liegen; Sturmflut von 1825 an der deutschen Nordseeküste meist 3 bis 4 m über gewöhnlicher Flut, Wellenhöhe bei Deichen an offener See ohne

Abb. 162.

ohne

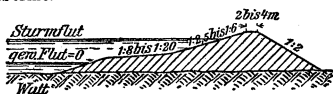


Abb. 163.

Seedeich

mit hoher

Außenberme.

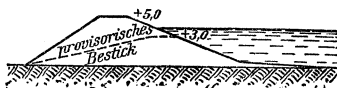


Vorland bis 3 m. Breite der Kappe 3 bis 4 m, Fahrweg am besten auf einer Binnenberme. Bekleidung bis zur Höhe der Springflut mit Rasen, darunter mit Strohbestückung oder Steinpflaster. Außenböschung 3- bis 6-fach, je nach Höhe des Vorlandes, der Lage zur herrschenden Windrichtung und dem Schutz durch Inseln. Meist wird der untere

Teil der Böschung flacher als der obere angelegt oder eine hohe Außenberme vorgelegt, um die Wellen zu brechen. Bei Seedeichen an Flüssen $2\frac{1}{2}$ - bis 4-fache Außenböschung in Rasen, zuweilen auch $1\frac{1}{2}$ -fache in Pflaster. Binnenböschung meist 2-fach. Besondere

Abb. 164. Seedeich,

im 1. Baujahr sommerdeichartig geschüttet.



Sicherungen des Außenbermefusses unter und über Fluthöhe durch Strohbestückung (nur auf Kleiflächen), Bespreitung, Hürden, Segel oder Jutedecken, Holzwände, Steinböschungen (aus natürlichen Steinen, Klinkern oder Zementplatten).

Herstellung. Der Erdverbrauch wegen der Sackungen 50 bis 100 vH größer als rechnungsmäßig. Sackung häufig $\frac{1}{3}$ der Höhe. Bodenentnahme aus dem Aufseideich aus Pütten (Gruben), die bei niedrigem Vorland durch einen Hilfsdeich (Kajedeich) vor Flut geschützt sind; vorläufiger Deichquerschnitt sommerdeichartig mit flacher Binnenböschung. Ausführung spätestens bis September beendigen, damit die Rasendecke noch festwachsen kann.

Wasserrechtliche Bestimmungen für Preußen.*)

A. Allgemeines.

Das allgemeine Landrecht (ALR) (für die altpreußischen Provinzen, für die Rheinprovinz jedoch nur rechtsrheinisch, außer Reg.-Bez. Koblenz und Großherzogtum Berg).

*) Literatur: Hue de Grais, Verfassung und Verwaltung; Schulz, Wasserbauverwaltungsdienst.

Das gemeine deutsche Recht (GR) (für Neuvorpommern, Rügen, Schleswig-Holstein, Hannover, Hessen-Nassau, Reg.-Bez. Koblenz rechtsrheinisch und Hohenzollern).
Das französische (rheinische) Recht (RR) (für das linksrheinische Gebiet und Großherzogtum Berg).

B. Für Stromregulierungen (alle öffentlichen Flüsse, soweit deren Schiffbarkeit reicht) gilt außer dem ALR Teil II Tit. 14 u. 15, Teil I Tit. 9 noch das Gesetz betr. die Befugnisse der Strombauverwaltung gegenüber den Uferbesitzern an öffentlichen Flüssen vom 20. August 1883.

C. Für Stauanlagen gilt außer dem ALR Teil II Tit. 15 das Gesetz vom 15. November 1811, vom 20. März 1808, vom 28. Oktober 1810, vom 23. März 1836 über Mühlenstau und Vorflut, Gewerbeordnung vom 21. Juni 1869. Für die Rheinlande Ruralgesetz vom 28. September 1791, Rheinisches Ressort-Reglement vom 20. Juli 1818; für Hohenzollern Mühlenordnung vom 8. November 1845.

D. Für nicht öffentliche Gewässer gilt außer dem ALR Teil II Tit. 15, Teil I Tit. 9 das Gesetz über die Benutzung der Privatflüsse vom 28. Februar 1843.

E. Für Ent- und Bewässerungsanlagen gilt außer dem ALR Teil I Tit. 8 das Gesetz vom 15. November 1811 (über Vorflut), vom 23. Januar 1846, vom 11. Mai 1853 (dsgl.), vom 1. April 1879 (Genossenschaftsbildung), Normalstatut für Ent- und Bewässerungsgenossenschaften 7. Januar 1886.

F. Für das Ueberschwemmungsgebiet gilt Gesetz zur Verhütung von Hochwassergefahren vom 16. August 1905. Gesetz über das Deichwesen vom 28. Januar 1848, Bestimmungen über die Deichverbände vom 14. November 1853. In den neuen preussischen Provinzen treten dafür in Schleswig: Wasserlösungsordnung für die Geestdistrikte vom 6. September 1863; in Holstein: dsgl. vom 16. Juli 1857; in Lauenburg: dsgl. vom 22. Mai 1857; in Hannover: Gesetz vom 22. Mai 1857 über Ent- und Bewässerungen der Grundstücke, sowie über Stauanlagen, und Deich- und Sielordnung für das Fürstentum Lüneburg vom 15. April 1824; in Kurhessen: Verordnung über den Wasserbau vom 31. Dezember 1824, über Melioration vom 28. Oktober 1834, über Drainagen vom 17. Dezember 1857; in Nassau: Verordnung über Ent- und Bewässerung vom 27. Juli 1858. Großherzoglich hessisches Gesetz über die Aufräumung der Bäche vom 18. Februar 1853, über Regulierung der Bäche vom 19. Februar 1853, über Wassertriebwerke vom 20. Februar 1853, über Entwässerung vom 2. Januar 1858; Landgräfllich hessisches Gesetz über Wassertriebwerke u. Entwässerung vom 15. Juli 1862.

Einteilung nach der rechtlichen Natur:

1. Öffentliche Gewässer:

- a) Flüsse und Ströme, soweit ihre natürliche und künstliche Schiffbarkeit reicht (ALR) oder soweit sie flöfbar sind (RR und GR);
- b) Häfen, Buchten, Reeden;
- c) Seen im Laufe öffentlicher Flüsse.

2. Nicht öffentliche Gewässer:

- a) Natürliche umschlossene Gewässer (Teiche, Brunnen usw.), nicht umschlossene Gewässer (nicht schiffbare Flüsse mit ihren Seen, Bächen usw.);
- b) künstliche Gewässer (Kanäle, Gräben, Wasserleitungen u. dgl.).

ZEHNTER ABSCHNITT.

WASSERKRAFTANLAGEN.

I. Vorarbeiten.

a) Technische Vorarbeiten. Bestimmend für die Kraftleistung eines Werkes ist die Betriebswassermenge Q und das Nutzgefälle H . Danach ergibt sich die mechanisch nutzbare Leistung in Pferdestärken (75 mkg) an der Welle des Wassermotors zu

$$N = 1000 \frac{Q \cdot H \cdot \eta}{75},$$

worin Q in cbm/sk, H in m.

Die Ermittlung von Q erfolgt aus Wasserabflussmengenmessungen oder für überschlägliche Untersuchungen aus Berechnungen nach Maßgabe des Einzugsgebietes und der Niederschlagsmengen für die betreffende Stelle des Wasserlaufs (s. unten). Die Festlegung des Gefälles (H) und die Wahl der Lage für das Kraftwerk erfordert eingehende Geländeaufnahmen und gegebenenfalls geologische Untersuchungen. Bei dem Ausbau des Kraftwerkes, der elektrischen Kraftumsetzung und Fernleitung müssen Wasserbau, Maschinenbau und Elektrotechnik zusammenarbeiten.

Wirkungsgrad der Wassermotoren für vorläufige Berechnungen $\eta = 0,75$. Dann ist $N = 10 \cdot Q \cdot H$ in PS.

Betriebswassermenge und Maschinenstärke s. S. 623 u. 637.

b) Wirtschaftliche Vorarbeiten. Diese müssen Hand in Hand gehen mit den technischen Ermittlungen. Die wirtschaftlichen Untersuchungen bestehen in Kosten- und Vergleichsberechnungen (Baukostenermittlung), Betriebskosten- und Ertragsberechnungen, um den Nachweis zu führen, daß die jährlichen Ausgaben aus den Einnahmen des Unternehmens gedeckt werden (Rentabilität und Reingewinn). Die Frage der Absatzfähigkeit der Kraft und ihre Wertschätzung steht dabei in erster Linie. Die Fernübertragung der Wasserkraft und ihre Verwertung in Ueberlandzentralen ist zu prüfen. Demnächst ist die Geldaufbringung sicherzustellen. Alle diese technischen und wirtschaftlichen Feststellungen müssen sich bei der vorläufigen Planung in großen Zügen halten.

Eingehende Darstellung der technischen und wirtschaftlichen Grundlagen

für Wasserkraftanlagen s. Mattern, Die Ausnutzung der Wasserkräfte II. Aufl., Leipzig 1908,

für Talsperren Mattern in H. d. I. W. IV. Aufl., III. Teil, II. Bd.

II. Entwurfsaufstellung.

Vorschriften für die behördliche Genehmigung.*) Für die Aufstellung der Entwürfe zu Wasserkraftanlagen gelten für Preußen die Vorschriften der Gewerbeordnung vom 1. Mai 1904 (Min.-Bl. der Handels- u. Gewerbeverwaltung S. 123). Die Ausführungsanweisung enthält unter Nr. 12 Abs. 1, 2a bis c, 13 u. 14 die genauen Festsetzungen. Aus dem Antrage auf Genehmigung müssen der vollständige Name, der Stand und der Wohnort des Unternehmers ersichtlich sein. Dem Antrage sind in 3 Stücken eine Beschreibung, ein Lageplan und der Bauplan der Anlage beizufügen.

Für die Entwurfsbearbeitung, die Bauweise, den Bau, die spätere Unterhaltung und den Betrieb der Talsperren hat die preussische Staatsregierung im Jahre 1907 eine „Anleitung für Bau und Betrieb von Sammelbecken“ nebst Anlage „Muster zu einer Dienst-anweisung für Stauwörter bei Sammelbecken“ erlassen (Min.-Bl. der Verwaltung für Landwirtschaft, Domänen und Forsten 1907 S. 195 bis 206**). Danach unterliegen Talsperrenanlagen der landespolizeilichen Prüfung. Die Bedingungen für die Ausführung und den Betrieb werden durch eine Genehmigungsurkunde vorgeschrieben. Die zuständigen Ministerien sind: Inneres, Handel und Gewerbe, Öffentliche Arbeiten, Landwirtschaft, Domänen und Forsten. Im Jahre 1910 ist ein Nachtrag erschienen, der die Einrichtungen zur Messung des Wasserinhalts des Beckens und der Zu- und Abflussmengen festsetzt.***)

Geländeaufnahmen. Karten und Pläne. Für vorläufige Entwürfe genügen die Karten der Landesaufnahme (Mafstischblätter 1:25 000). Zur Uebersicht für gröfsere Anlagen dienen die Generalstabskarten (1:100 000). Für genaue Projektierung und Bauausführung sind Vermessungen in senkrechter und wagerechter Richtung nicht zu umgehen. Tachymeteraufnahme oder Auslegung von Querschnitten. In stark hügeligem Gelände leistet für genaue Arbeit die Winkelmessung gute

*) Ueber die preussische Gesetzgebung betr. den Wasserstau s. Frank (Textausgabe der einschlägigen Gesetze), Breslau 1888 und Niederding-Frank, Wasserrecht und Wasserpölizei, Breslau 1889. Ein neues preussisches Wassergesetz ist seit Jahren in Vorbereitung.

Für Bayern gilt das Bayerische Wassergesetz vom 23. März 1907. Ebenfalls neue Wasserrechtsgesetze haben Württemberg (1900), Sachsen (1908), Baden usw.

Preussische Gesetzgebung betr. Talsperren s. Gesetz wegen Abänderung des Gesetzes betr. die Bildung von Wassergenossenschaften für das Gebiet der Wupper und ihrer Nebenflüsse vom 19. Mai 1891 (G. S. S. 97). Das Gesetz ist später ausgedehnt auf das Gebiet der Lenne (30. Dezember 1891) und der Ruhr (18. April 1900). Vgl. ferner das Gesetz vom 3. Juli 1900 betr. Mafsnahmen zur Verhütung von Hochwassergefahren in der Provinz Schlesien.

Für Oesterreich s. Peyrer, Das österreichische Wasserrecht.

**) Z. d. B. 1907 S. 525.

***) Z. d. B. 1910 S. 531.

Dienste, indem man von einer Grundlinie ausgehend die Längen berechnet.*) Sorgfältige und sichere Markierung der Festpunkte im Gelände ist nötig. Unterschied zwischen Aufrechnungen nach Meßtischblättern und genauer Aufnahme soll 5 vH nicht übersteigen. Genauigkeit der Höhenschichtenpläne soll nicht mehr als 3 vH von der wirklichen GröÙe abweichen. Ueber Einzelheiten des Meßverfahrens s. 1. Abschn. „Vermessungskunde“. Lagepläne 1:1000 bis 1:2000, bei größeren Anlagen 1:5000. Für Talsperren Ermittlung des Beckeninhalts aus einem Höhenschichtenplan. Dies geschieht überschlägig aus den Höhenlinien der Meßtischblätter, für den Entwurf aus Höhenlinien von 1 bis 5 m Abstand. Für den Vergleich der Wertigkeit verschiedener Täler empfiehlt es sich, die Beziehung zwischen Stauhöhe und Staufläche bzw. Stauinhalt zeichnerisch darzustellen (Höhen über Talsohle als Abszisse, Flächen und Inhalt als Ordinate), s. Abb. 1 (Solinger Talsperren).

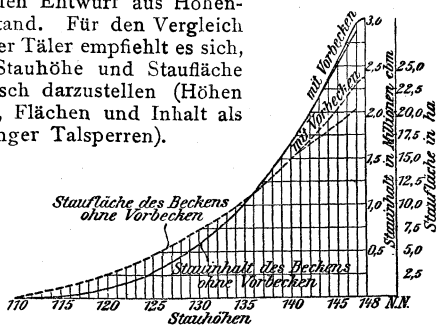
An der geplanten Abzweigung des Betriebskanals vom natürlichen Flußlauf (Wehrstelle) und an der Ausmündung in diesen sind die Höhenlage der Sohle des Flusses und die Wasserstände (NW, MW, HW), ferner Querschnitte des Flußlaufes aufzunehmen, um die nutzbaren Gefälle bei verschiedenen Wasserständen zu finden. Unnötige Gefällverluste vermeiden. Absenkung des Wasserspiegels im Unterwasser, wenn tunlich.

Schnellste Durchführung des Grunderwerbs, wenn der Bau beschlossen. Wo die Vorbedingungen gegeben sind, Verleihung des Enteignungsrechtes sichern für Haupt- und Nebenanlagen (Talsperre, Kraftgebäude, Rohrleitungen, Kanäle, Wege, elektrische Kraftleitungen usw.). Für Preußen hierbei maßgebend das Gesetz über die Enteignung von Grundeigentum vom 11. Juni 1874 (G. S. S. 221).

III. Die Wassermenge.

Ermittlung der Niederschlags- und Abflussmengen. Messung der Niederschläge durch Regenmesser. Gewöhnliche Regenmesser werden täglich einmal beobachtet. Für genaue Messungen dienen selbstzeichnende Messer, die die Niederschläge nach Zeit und Menge aufschreiben. In großen Gebieten sind mehrere Messer in verschiedener Meereshöhe nötig, in Gebirgen 1 Station auf 20 bis 30 qkm, im Flachland auf 250 bis 350 qkm. Wertvollen Anhalt für vorläufige

Abb. 1.



*) S. Mattern, Die Absteckung bogenförmiger Talsperren, Z. d. B. 1906 S. 541.

Die Instruktion des österreichischen Ministeriums des Innern vom 3. Dezember 1906 über die Anlage und Führung eines Wasserkraftkatasters in Oesterreich s. Oesterr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1907 Heft 1.

Ueber das Verfahren gewerblicher Anlagen in Oesterreich s. Oesterr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1907 S. 25.

Ermittlungen bieten die Veröffentlichungen des Kgl. Preufs. Meteorologischen Instituts, s. auch Hellmann, Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten und Hellmanns Regenkarte von Deutschland. Von den preussischen Provinzen sind Sonderkarten vorhanden.

Grenzen des Niederschlags in Deutschland als mittlere Jahresmenge 410 bis 2120 mm. Der Durchschnitt beträgt 660 mm, davon entfallen

auf den Winter	(Dez., Jan., Febr.)	18,1 vH
„ „ Frühling	(März, April, Mai)	22,4 „
„ „ Sommer	(Juni, Juli, Aug.)	36,0 „
„ „ Herbst	(Sept., Okt., Nov.)	23,5 „

Ueber die Niederschlagsverhältnisse in einigen Gebirgstälern Deutschlands s. Tab. 1. Den Einfluß der Höhenlage eines Ortes über dem Meere auf die Menge der Niederschläge zeigt Tab. 2. Im übrigen vgl. auch 13. Abschn. Kap. C.

Auf Grund dieser Messungen Anfertigung von Regenkarten für das Jahr, nach Erfordernis für Monate und Tage. Die Regenhöhe für die Zeiteinheit multipliziert mit der Größe des zugehörigen Niederschlagsgebietes ergibt die Regenmenge in dieser Zeit.

Tabelle 2. Jährliche Regenhöhen in der Rheinebene und im Bergischen Lande.

	Meereshöhe N.N.	Jährliche Regenhöhe mm	
Köln	67	596	23-jähriges Mittel (Köln—Remscheid 30 km Luftlinie).
Solingen	200	1000	6-jähriges Mittel.
Lennep	340	1238	20-jähriges Mittel.
Remscheid	378	1267	15-jähriger Durchschnitt.

Wichtiger als die Niederschlagsmenge ist für den Entwurf von Wasserkraftanlagen die Kenntnis der Wasserabflussmengen. Genaue Bestimmung des Wasserabflusses durch unmittelbare Messung, am besten durch ununterbrochene Aufschreibung selbstzeichnender Apparate. Die Messung ist an jener Stelle vorzunehmen, wo das Kraftwerk errichtet werden soll. Für überschlägliche Feststellungen genügen Schwimmermessungen. Mittlere Profilvergeschwindigkeit (v) ist etwa $= 0,8$ der Oberflächengeschwindigkeit. Nach Aufmessung des Querschnittes (F) an der Meßstelle Aufzeichnung der Abflussmengenkurve ($F \cdot v$), die für jeden Pegelstand an der Meßstelle die Abflussmenge darstellt (siehe Abb. 1 in Abschn. Wasserbau S. 533). Die Pegelablesungen früherer Jahrzehnte sind oft wertvoll für die nachträgliche Berechnung durch Verzeichnen einer solchen Wassermengenkurve. Ueber dieses bei Talsperrenvorarbeiten mehrfach angewandte Verfahren s. Mattern, Z. d. B. 1900 S. 260. Genaue Feststellungen mittels Meßwehres. Meist in Holz (Abb. 2,*) seltener massiv. Fachbaum ist durch scharfe Kante (Profileisen) genau abzugleichen. Neben dem Wehr kleines Becken in Verbindung mit dem Wasserlauf. Der Schwimmer zeichnet die Wasserstände auf eine Trommel, die durch ein Uhrwerk betrieben wird. Der Nullpunkt des Werkes auf der Trommel steht in Beziehung zur Ueberlaufkante, so daß die Strahldicke unmittelbar abgelesen wird.

*) Intze, Bessere Ausnutzung der Gewässer und Wasserkräfte.

Tabelle 1. Messungsergebnisse von Nieder

Messstelle	Größe des Niederschlagsgebietes in qkm	Mittlere Höhe des Gebirges üb. d. Meer in m	Mittlere Niederschlags-höhe jährlich in mm	Mittlere Abfluß-menge jährlich in Mill. cbm	Mittl. Abfluß in Hundertstel der Niederschlagsmenge		
					Winter (Oktober bis März)	Sommer (April bis September)	im Jahre
Eschbachtal bei Remscheid (Wuppergebiet)	4,5	300	1267	3,6	90,3	41,1 11,0 ¹⁾	67,4
					95,0 (Mittel 1889 bis 1904)	45,0	70,0
Sengbachtal bei Solingen (Wuppergebiet)	11,8	200	1000	8,45	96,0	46,0	71,0
Alfeldweiher (Vogesen) . .	5,2	850	2610	11,14	00,0 (Oktober bis Mai)	50—60 (4 Sommermonate)	80,0
Langetal bei Nordhausen (Harz)	5,7	500	600	1,39	75,0	34,0	56,0
Tal der Urft (Eifel) . . .	375,0	300—400	890	172,0	72,0	30,0	51,0
Tal des Queis (Schlesien)	303,0	300—900	um 1100	229,0	Die durchschnittl. Abfluß-höhe in den Jahren 1901 bis 1903 war 783 mm.		
Tal der Görlitzer Neiße (Böhmen)	103,0	400—700	900—1800	65,1	—	—	—
Harzdorfer Bach (Böhmen)	15,9	400—800	900—1800	8,1	—	—	—
Tal der Oester (Ruhrgebiet)	13,1	360	—	10,5	—	—	—

1) Im Durchschnitt der 6 Monate Mai bis Oktober 1904. — 2) Monatsmittel. Der

schlagshöhen und Wasserabflussmengen.

Sommerabflufs in Hundertsteln des Jahresabflusses		Gesamtjahres- abflussmenge von 1 qkm in Mill. cbm		Sekundlicher Abflufs von 1 qkm			Bemerkungen
im Durch- schnitt	geringster	größte	geringste	größter	geringster	mittlerer	
				sk/l			
20,0	5,0	0,970	0,607	650	0,2	25	Mefszeit 1888 bis 1896. Das Niederschlagsgebiet besteht aus geröllhalt. Lehm auf Tonschiefer- fels, zum Teil be- waldet.
34,0	19,0	0,862	0,630	232	2,0 (monatl. Mittel)	23	Mefszeit 1898 bis 1903. Die kleinste jährliche Abflussmenge ist etwa 83 vH der mittleren Jahresabflussmenge. — Niederschlagsgebiet beschaffen wie vor. — Der größte sekundl. Abflufs im Wupper- gebiet ist zu 1 bis 1,2 cbm gemessen wor- den. Das Mittel be- trägt 25 l, der Mindest- abflufs 1 l/sk/qkm (ober- halb Barmen bei etwa 210 qkm N.-G.).
22,0	14,0	2,18	2,11	1400	27 (mittl. nied- rigster Som- merabflufs Juni bis September)	68	Mefszeit 1889 bis 1891. Festgelagertes, felsiges Niederschlagsgebiet.
28,0	13,0 (Mai bis Oktober 1904)	0,33	—	—	—	—	N.-G.: undurchlässiger Lehm auf Fels, stark bewaldet. — Ergebnis des sehr trockenen Jahres 1904.
26,0	25,0	0,52	0,4	500	1,9 ²⁾	12—16	Mefszeit 1901 bis 1902. Mittlere Jahresabflufs- menge in längeren Jahren 180 Mill. cbm.
51,0	—	0,88	0,63	2600	5,4 ³⁾ 0,7 ⁴⁾	24	Mefszeit 1901 bis 1903. Bei dem HW Juli 1897 betrug der Abflufs 96,4 vH der Nieder- schlagsmenge. — Stei- ler Abfall des Nieder- schlagsgebietes.
—	—	0,63	—	500	10,0 ³⁾ 2,0 ⁴⁾	20	Mefszeit 1902 bis 1903. Steil abfallende Hänge, besonders in den Sei- tentälern.
—	—	0,51	—	1260	5,0 ³⁾ 2,5 ⁴⁾	16,4	Mefszeit 1902 bis 1903.
—	—	0,88	0,74	—	1,6 ³⁾ 0,3 ⁴⁾	25,5	Mefszeit 1899 bis 1900.

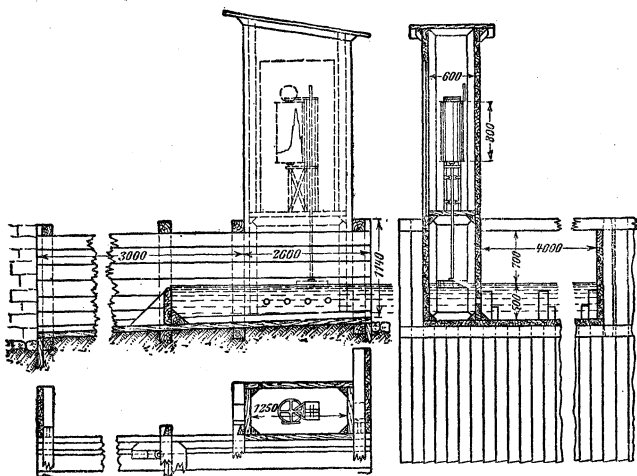
geringste Tagesabflufs ist etwa 1 l/sk/qkm. — 3) Monatsmittel. — 4) Tagesmittel.

Es ist die sekundliche Abflussmenge Q

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot h^{3/2} \cdot \sqrt{2g},$$

worin b = Breite des Wehres, bei kleineren Bächen 4 bis 5 m, h = Strahldicke, s. Abb. 3, g = 9,81, μ = Abflusskoeffizient.

Abb. 2.



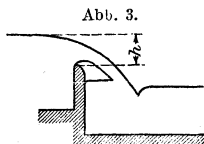
Selbstaufzeichnende Meßvorrichtung zur Bestimmung der Wasserabflussmengen an einem Wehrüberlauf.

Falls das Wasser mit der Geschwindigkeit v am Ueberfall ankommt, so ist hinreichend genau

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \left(h + \frac{v^2}{2g} \right)^{3/2}.$$

Besser wird diesem Einfluß in der Wahl von μ Rechnung getragen. Für genaues Ergebnis entscheidend ist der richtige Wert von μ . Bei scharfer Ueberlaufkante als Mittelwert $\mu = 0,63$. Weiteres über μ s. I. Bd. S. 272 u. f. und H. d. I. W. IV. Aufl., III. Teil II. Bd. Wo angängig, μ für den Einzelfall bestimmen, indem man gleichzeitig mit den Wehrmessungen in einer regelmäfsig gestalteten Flußstrecke in der Nähe des Wehres Geschwindigkeitsmessungen macht. Hat man hiernach bei Beharrungszuständen Q bestimmt und im selben Zeitpunkt die Strahldicke abgelesen, so ergibt sich

$$\mu = \frac{3Q}{2b \cdot h \cdot \sqrt{2gh}}.$$



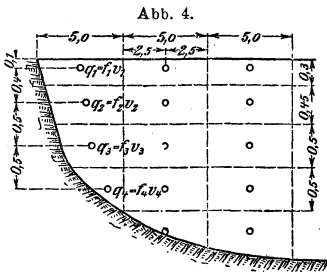
Diese Vergleichsrechnungen bei verschiedenen Wasserständen wiederholen.

Es genügt, die mittlere Strahldicke für 1 st in die Rechnung einzuführen.

Es ist die stündliche Abflussmenge

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot h^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \cdot 3600.$$

Zur Vereinfachung der Aufrechnungen leistet eine Wassermengenkurve gute Dienste*) (Abszissen = Strahldicke, Ordinaten = Wassermenge). Wo Wehreimbau nicht zugänglich, Messungen mittels hydrometrischen Flügels. Einteilung des Querschnitts nach Senkrechten und Wagerechten in Felder und Messung der Geschwindigkeit v in jedem Felde (Abb. 4). Dann ist $Q = \Sigma f \cdot v$. Eingehende Beschreibung dieses Verfahrens H. d. I. W. IV. Aufl., III. Teil I. Bd. Ueber Flügel besonderer Konstruktion für sehr flache Gewässer s. Schweiz. Bztg. 6. Okt. 1906.



Die Ergebnisse der Niederschlags- oder Abflussmengenberechnungen werden üblicherweise zeichnerisch oder tabellarisch zusammengestellt. Als kleinste Zeiteinheit wird dabei der Tag gewählt.

Für überschlägliche Ermittlungen kann an Stelle der Messung die Berechnung nach Abflusgesetzen erfolgen. Praktischer Ueberblick dabei unerlässlich. Berechnung entweder nach dem Abfluss von der Flächeneinheit, z. B. vom qkm des Niederschlagsgebietes, oder in Hundertsteln des Niederschlags nach Maßgabe bekannter Zahlen in Bezirken mit ähnlichen hydro- und orographischen Verhältnissen. Tabelle 1 wird hierfür einigen Anhalt bieten.

Nach Intze erhält man die Jahresabflussmenge, wenn man die Flächengröße multipliziert mit einer Abflusshöhe, die in deutschen Gebirgsgegenden gleich der mittleren Regenhöhe ist, vermindert um 300 bis 350 mm (Verluthöhe). S. auch H. Keller, Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mitteleuropa, Jahrb. f. Gewässerkunde Norddeutschlands. Besond. Mitt. Bd. I Nr. 4.

Ueber die wasserwirtschaftlichen Vorarbeiten für die Solinger Talsperren (Wasserversorgung und Elektrizitätswerk) s. Mattern, Z. f. B. 1904 S. 295, für die Talsperre der Stadt Nordhausen a. H. Mattern, Die weiße Kohle 1908 S. 300 und 1909 S. 3.

Betriebswassermenge (bei Triebwerken ohne Wasserausgleich). Richtige Bemessung der Betriebswassermenge ist der Kernpunkt der Projektierung. Wo am Fluslauf Wasserkraftnutzung bereits stattfindet, werden vorhandene Triebwerke einen Anhalt für die Bemessung der Maschinenstärke bieten. Nicht nötig, die allergeringste Wasserführung für die Kraftleistung anzunehmen. Wasserkraftwerke ohne Wasserausgleich nutzen etwa 40 vH, wohl nie über 60 vH des Mittelwassers

*) Z. f. B. 1903 S. 650.

aus (MW). Demnach ist für ununterbrochenen Jahresbetrieb die Betriebswassermenge $Q = \frac{W \cdot 0,4}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}$, wenn W = Jahresabfluß.

Hierbei erleiden in unseren Mittelgebirgen die Werke immer noch an 100 bis 120 Tagen im Jahre Mangel. Ueber die Beziehung zwischen Wassermangel und Betriebswassermenge (Aufschlagwasser) s. Tab. 3.

Tabelle 3. Beziehung zwischen Aufschlagwassermenge und Wassermangel.

	Niederschlagsgebiet qkm	Bei einer Betriebswassermenge von				
		20 vH	30 vH	40 vH	50 vH	60 vH
		Tage mit Wassermangel				
Urftalsperre (Eifel), Mittel 1901/02	375	75	105	140	150	175
Wuppergebiet, Bever-, Uelfe- und Bruchertal 1888/89.	7,2—22	40	90	130	160	185
Oestertal (Ruhrgebiet) 1899/1900 .	13	60	90	115	145	165
Ruhr 1902	4450	0	40	125	150	175
Marklissa (Schlesien) 1902/03 . . .	305	25	85	125	150	175
Harzdorfer Bach (Böhmen)	1555	10	40	90	120	150

Die Betriebswassermenge, die den wirtschaftlichen Aufrechnungen zugrunde gelegt wird, sollte wenigstens an 9 Monaten im Jahre zur Verfügung stehen.

Zu beachten ist die Betriebszeit des Werkes. Wenn z. B. nur 10-stündiger Betrieb vorhanden, erhöht sich die Aufschlagwassermenge auf 2,4 Q und, wenn keine Sonntagsarbeit ist, auf 2,8 Q . Dann kleine Ausgleichsweiherr nötig (s. unten).

Bei mittleren Wasserläufen Unterscheidung, ob der Fluß schiffbar oder nicht schiffbar. Bei ersteren ist für die Festlegung der Betriebswassermenge auf die Schifffahrt Rücksicht zu nehmen. Je nachdem freier Flußlauf oder Kanalisierung vorhanden ist, kann ein kleinerer oder größerer Anteil des Abflusses für Kraftzwecke nutzbar gemacht werden. In größeren Strömen (Unterlauf) überwiegen meist die Interessen der Schifffahrt und lassen die Anlage von Wasserkraftwerken hier im allgemeinen nicht angängig erscheinen. Weiteres s. S. 639.

Ausgleich des Wasserabflusses durch Sammelbecken (Talsperren). Es ist die Aufgabe der Sammelbecken, eine über das Jahr ganz oder doch annähernd gleichmäßige Betriebswasserabgabe zu ermöglichen. Größe des Staubeckens muß durch einen Wasserwirtschaftsplan bestimmt werden. Maßgebend dafür sind drei Umstände: der Zufluß, die Entnahme einschl. der Verluste durch Verdunsten und Versickern und der Stauinhalt des Beckens. Falls ein zentrales Kraftwerk mittels Rohrleitungen aus der Talsperre gespeist wird, ist auch die Gefällhöhe von Einfluß. Zufluß aus dem Niederschlagsgebiet nach Jahren und Jahreszeiten stark wechselnd, Entnahme ebenfalls schwankend. Der Ausgleich findet in Becken statt. Die Größe dieses Ausgleichsraumes wird zunächst geschätzt, und durch Probieren findet man die höchstmögliche Wasserabgabe. Es empfiehlt sich, hierbei nicht mit der vollständigen Entleerung des Beckens zu rechnen, sondern stets einen Vorrat „eisernen Bestand“ zu

halten. Dieser ist wichtig als äußerste Notathülfe sowie für den Turbinenbetrieb erwünscht, um die Gefällschwankungen im Kraftwerk zu mäßigen. Gegebenenfalls wird der Beckenraum über den notwendigen Bedarf vergrößert, um an Nutzgefälle zu gewinnen. Für vorläufige Schätzung kann der Stauraum auf 40 bis 50 vH des mittleren Jahresabflusses bemessen werden. Falls Ausgleich über mehrere hintereinander folgende trockene Jahre erwünscht, geht man bis auf 65 vH (z. B. Neye- und Möhne-Talsperre). Der Wasserwirtschaftsplan kann zeichnerisch oder rechnerisch aufgestellt werden. Er bildet die Grundlage für die wirtschaftlichen Aufrechnungen, für die konstruktive Durchbildung der hydraulischen Anlagen, der Maschinen und elektrischen Einrichtungen. Er gibt ferner die Richtschnur für den späteren Betrieb. Als unerlässliche Regel des Betriebes bei den klimatischen Verhältnissen Mitteleuropas gilt, daß das Staubecken beim Eintritt in die trockene Jahreszeit (1. April oder 1. Mai) gefüllt ist. Maßgebend ist eine lange Trockenzeit, für die der Beckenvorrat Betriebswasser liefern muß, wobei zu berücksichtigen ist, daß in kleinen Niederschlagsgebieten der Zufluß in solcher sommerlichen Dürre praktisch gleich Null sein kann (vgl. Tab. 1). Eingehende Darstellungen über die Aufstellung der Wasserwirtschaftspläne s. Mattern, Ausnutzung der Wasserkräfte, II. Aufl. S. 98 sowie H. d. I. W. IV. Aufl., III. Teil XIII. Bd. Ueber die Bedeutung des Talsperrenbaues für die deutsche Wasserwirtschaft zum Zwecke der Kraftgewinnung in Verbindung mit dem Hochwasserschutz, der Trinkwasserversorgung, der landwirtschaftlichen Bewässerung und der Wassertiefenvermehrung der Ströme für die Schifffahrt s. Mattern, Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft, Berlin 1902. Für die Auswahl des Talbeckens zur Wasseraufspeicherung gilt: Die Kosten für das Absperrbauwerk und seine Nebenanlagen müssen in einem günstigen Verhältnis stehen mit der Größe des gewonnenen Stauraumes. Der Untergrund des Talbeckens muß dicht sein und eine geschlossene und feste Gründungssohle bilden. Lage möglichst nahe am Verbrauchsort. Fläche und kesselartige Täler mit steilen Hängen oder Vereinigungsstelle mehrerer Täler günstig. Große Becken stellen sich für die Einheit des Stauraumes billiger als kleine; ebenso nehmen mit wachsender Stauhöhe die Einheitskosten ab (s. Tab. 4). Stauräume ausgiebig bemessen und das abzufangende Niederschlagsgebiet voll ausnutzen, da nachträgliche Aufhöhung der Talsperren oder Staudämme schwierig und kostspielig. Auf vorteilhafte Gefällerschließung ist Bedacht zu nehmen. Sammelbecken für Triebwasservermehrung in den Bächen möglichst in den oberen Niederschlagsgebieten anlegen. Geologische Untersuchungen erforderlich sowohl für die Gründung der Talsperren wie gegebenenfalls für die Linienführung der Stollen, Betriebskanäle, den Bau des Krafthauses usw. Zusammenwirken des Ingenieurs und des Geologen. Diese Bodenuntersuchungen gehören zu den allerersten Vorarbeiten. Schürfungen durch Bohrungen, Probelöcher oder Längs- und Querschlitze in der Talsohle und an den Hängen der Baustelle. Die Schürfungen sind bis auf den festen Fels hinabzutreiben. Ergebnisse zeichnerisch darstellen. Endgültige Entscheidung über die Gründungssohle erst nach Bloßlegung der

Tabelle 4. Beziehungen zwischen den Stauhöhen einer Talsperre und den Kosten.

Höhe der Tal- sperre m	Stau- inhalt Mill. cbm	Stau- fläche ha	Materialaufwand	Verhältnis		Kosten für 1 cbm Stau- raum M	Bemerkungen
				der Stau- inhalte	der Grund- er- werbs- kosten		
43	3	22,9	65 000 cbm Mauerwerk	30	5	0,44	Ausgeführte Mauer
30	1	11,0	27 000 „ „	10	3	0,58	—
8,5	0,1	3,3	23 000 „ Beton	1	1	0,98	Erddamm mit Beton- kern. Ausgeführt.
			16 400 „ Erde				

Näheres s. Z. f. B. 1904 S. 295.

Baugrube möglich. Zu gleicher Zeit Untersuchungen über die Anlage der Steinbrüche für den Bau der Talsperren und über die Brauchbarkeit des Gesteins. Ueber die Vorarbeiten, Berechnung, Konstruktion, Bau und Betrieb der Talsperren s. Mattern, H. d. I. W. IV. Aufl., III. Teil, II. Bd., sowie Ziegler, Der Talsperrenbau 2. Aufl., Berlin 1910.

Tagesausgleichsweiher. Sie regeln den Abfluss von Tag und Nacht oder speichern den Ueberfluss an Betriebswasser in wenig belasteten Stunden für die Spitzen des Kraftverbrauchs auf. Weiher ersterer Art, z. B. an der Wupper von 30 000 bis 72 000 cbm Fassungsraum, um das aus den Sammelbecken über Tag abgelassene Nutzwasser auf den Zwischenstrecken, durch die es über Nacht ungenutzt abfließen würde, aufzuhalten. Ihre Grösse und Entfernung von einander hängt von der Betriebszeit und Fließgeschwindigkeit ab. Weiteres s. Intze, Die geschichtliche Entwicklung, die Zwecke und der Bau der Talsperren, Berlin 1906 und Z. d. V. d. I. 1906.

Weiher der zweiten Art hauptsächlich für Zentralwerke. Lage parallel neben der Wasserzuführung, z. B. Gersthofen (350 000 cbm), Jonage (150 ha Wasserfläche), Luzern-Engelberg (70 000 cbm) u. a., oder die Wassersammlung findet in hochbelegenen Behältern statt, wohin das überschüssige Wasser durch Pumpen gehoben wird (Olten-Aarburg 12 000 cbm, Schaffhausen 75 000 cbm). Vorbedingung hierfür ist das Vorhandensein einer geeigneten Anhöhe in der Nähe des Kraftwerkes. Neben der Wasseraufspeicherung kann der Ausgleich durch elektrische Akkumulierung erfolgen. Kraftverlust im Akkumulator 20 bis 25 vH. Baukosten und Betriebskostenberechnungen müssen ausweisen, welche Anordnung im Einzelfalle vorteilhafter ist.

IV. Das Gefälle.

Die Gewinnung von Gefällhöhen kann auf folgende Arten geschehen:

1. durch Zusammenfassung des Talgefälles a) an Wehren, b) in Triebwerkanälen, c) in Stollen, d) in Rohrleitungen, e) in der Vereinigung dieser Mittel;

2. durch Anzapfung und Aufstauung natürlicher Seen;

3. durch Aufstauung in Sammelbecken.

Überhaupt größtes Nutzgefälle bisher 950 m (Vouvry am Genfer See); in Deutschland 192 m (Talsperrenkraftwerk der Stadt Nordhausen a. H.).

Das Gefälle wird bestimmt durch den Höhenunterschied der Wasserstände oberhalb der Wasserrfassung und im Unterwasser des Kraftwerkes. Im OW gilt als Normalstau etwa MW (Kulturwasserstand) (Abb. 5). Der bisherige HW-Stand darf durch den Einbau des Wehres im allgemeinen nicht oder nicht wesentlich gehoben werden. Zwischen MW (Wehrkrone) und HW muß das größte Hochwasser des Flusses — abzüglich des Kraftwassers — über das Wehr abgeführt werden. Damit ist die Länge des Wehres festgelegt. Lage des Wehres senkrecht zum Stromstrich. Schräges oder gekrümmtes Wehr

Abb. 5.

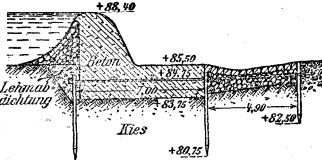
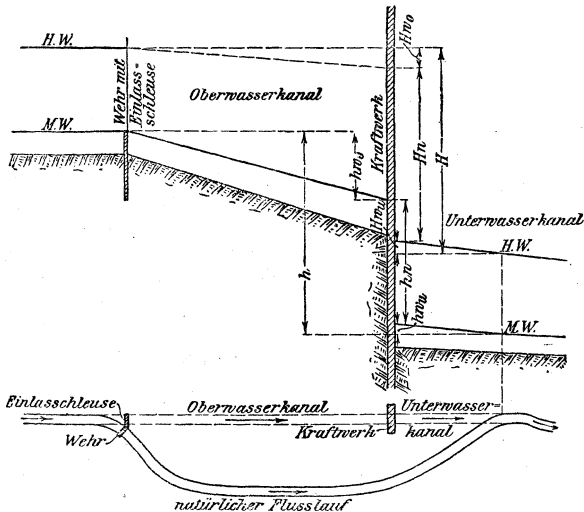


Abb. 6. Höhenverhältnisse eines Niederdruckwerkes mit Wehr und Betriebskanal.



Nutzbares Gefälle bei Hochwasser = $H_n = H - (H_{w0} + H_{wu})$

Nutzbares Gefälle bei Normalwasser = $h_n = h - (h_{w0} + h_{wu})$

(w_0 und w_u = Gefällverluste im Ober- und Unterkanal)

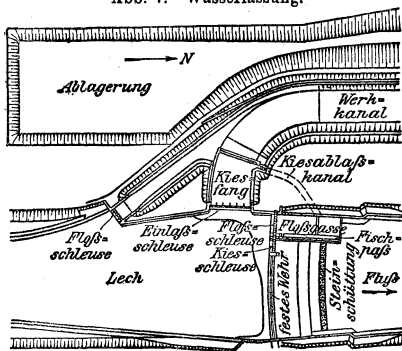
$H < h$, weil die Wasserstände im Unterwasser schneller wachsen als im Oberwasser.

zur Erzielung größerer Ueberlaufhöhe (Solingen).*) Vermehrter Hochwasserabfluss kann auch durch Anlage beweglicher Wehre geschaffen werden. Im Unterwasser NW und HW festlegen. Schematische Darstellung der Höhenverhältnisse eines Niederdruckwerkes mit Wehr und Betriebskanal s. Abb. 6. In neuerer Zeit hohe talsperrenartige Wehre (fest), um Gefälle zu erschließen, durch Hebung des Wasserspiegels (Avignonet, Spiersfall usw.).

Ueber Wehre vgl. Abschn. Wasserbau.

Wasserfassung. Neben dem Wehr steht die Einlaßschleuse (Abb. 7, Gersthofen)**) als Eingang zum Kraftwerk oder zunächst zum Betriebskanal. Sie dient für Hochwasserabschluß und um den Wasserzufluß zu regeln. Sohle in Flußsohlenhöhe oder ein wenig höher, um Kies, Sand usw. fernzuhalten. Hier mitunter Grobrechen zum Aufhalten schwimmender Gegenstände. Maschenweite 10 bis 15 cm. Bei Geschiefeführung Kies-, Sand- oder Schlammfänge hier, wie vor dem Kraftwerk, nötig und Spülschleusen zum Entfernen der Ablagerungen. Wo Schiffsahrt oder Floßbetrieb vorhanden, ist am Wehr oder am Ende des Oberkanals

Abb. 7. Wasserfassung.



(am Kraftwerk) der Einbau von Floß- oder Schiffsschleusen nötig.

Triebwerkkanäle. Meist im Vorlande, selten am Berghange liegend. Für die Linienführung und Wahl der Gefällstufe (Kraftwerk) Geländegestaltung maßgebend. Staustufe möglichst an einen Geländeabfall verlegen. Einfluß auf die Veränderung des Grundwasserstandes wegen Schädigung landwirtschaftlicher Kulturen beachten. Hohe Lage des Wasserspiegels über dem Gelände bringt die Gefahr von Wasserverlusten (Versickerung) und Verwässerung der Ländereien. Abdichtung des Kanalbettes bei durchlässigem Untergrunde nötig. Absenkung des Grundwassers schädigt den Wuchs. Erdarbeiten sollten ein Minimum sein, s. S. 558. Mindestgefälle im Wasserspiegel bei kleinen Triebkanälen 40 bis 50 cm auf 1 km, so daß bei 0,4 bis 0,5 vT Nutzbarkeit des Flußgefälles aufhört (1:2500 bis 1:2000). Kleinstes Sohlengefälle etwa 1:1000. Vor dem Kraftwerk Erweiterung, so daß die Eintrittsgeschwindigkeit vor den Turbinen nicht $> 0,5$ m/sk. Unterkanal so tief anlegen, daß er nie trocken läuft. (Wasserpolder unterhalb des Turbinenauslaufs.) Turbinen sollen im OW wenigstens 1 m mit Wasser überdeckt sein, Saughöhe der Turbinen nicht größer als 6 m. Ober-

*) Z. f. B. 1904, S. 529.

**) Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1904 Nr. 14.

halb des Kraftwerks meist seitliche Ueberfälle oder Schützen (Freiarchen) zur Entlastung (s. V. Kraftwerk).

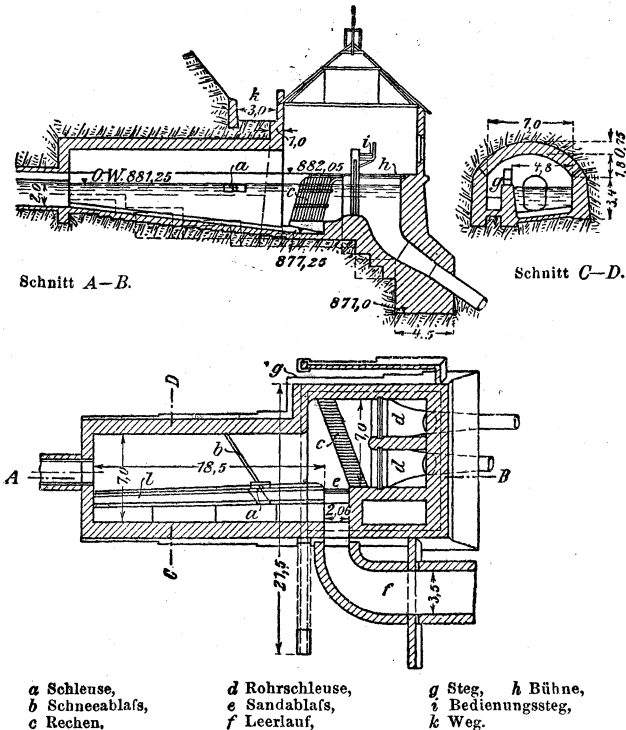
Festlegung des Kanalquerschnitts F durch rechnerische Untersuchung im Wege des Probierens nach Maßgabe der Beziehungen

$$Q = v \cdot F$$

$$v = c \sqrt{R \cdot J.}$$

R = hydraulischer Radius = $\frac{F}{p}$, wenn p der benetzte Umfang des Querschnittes ist. Ueber die Wahl von c s. III. Bd., 9. Abschn.

Abb. 8. Wasserschloß.



Man geht zweckmäfsig von v aus, das man mit Rücksicht auf die Bodenart des Kanalbettes wählt, und berechnet danach das Gefälle, indem man den Querschnitt nach Maßgabe allgemeiner Konstruktionsgesichtspunkte (s. III. Bd., 9. Abschn.) und nach ausgeführten Beispielen

zunächst beliebig annimmt. Je größer das Gefälle, um so kleiner kann der Kanalquerschnitt sein, anderseits bedingt ein großes J starke Verluste am Nutzgefälle h und Befestigung der Kanalböschungen. Für kleine Wassermengen ($Q = 10$ bis 20 cbm/sk) J etwa $1:2000$, für größere Q bis 50 cbm/sk. J etwa $1:6000$ bis 10000 . Querschnittsgestaltung meist in natürlichen Böschungsverhältnissen, bei beengtem Raum mit steilen Einfassungen.

Zulässige Wassergeschwindigkeit. $v = 50$ bis 60 cm/sk für unbefestigten Lehm-, Ton-, Sandboden, bei 70 bis 100 cm/sk wird Befestigung der Sohle (durch Schwellen) und Böschungen schon erwünscht sein. Für groben Kies $v = 70$ bis 90 cm ohne Befestigung. Für größere Kieselsteine und kantige Steine $v = 90$ bis 150 cm; für hölzerne Zuleitungsrinnen $v =$ bis $2,5$ m, für Fels $v = 2$ bis 3 m/sk.

Stollen. Im Gebirge erfolgt die Zuleitung vielfach mittels Stollen, die den Weg des natürlichen Wassergerinnes abkürzen. Bisweilen

Abb. 9. Druckstollen.



Abfluss in ein anderes Flusstal. Stollenführung mit möglichst schwachem Gefälle, ($1:1000$), daran mittels Wasserschloß (Abb. 8, Innsbruck*) anschließend **Druckstollen** oder Druckrohre, letztere steil zum Kraftwerke abfallend (Abb. 9, Meran-Bozen**). Wasserschloß möglichst geräumig, um selbst die feinsten Sinkstoffe zur Ablagerung zu bringen. Sonstige Einrichtungen (Sandfänge, Rechen u. a. m.) wie bei den Triebwerkskanälen, s. oben. Druckstollen verlangen ein sehr dichtes Gebirge, andernfalls künstliche Abdichtung nötig. Betonierung der Wände, Putz, wodurch auch Verminderung der Reibung (kostspielig). Stollen bieten

in steilen Gebirgstälern größere Betriebssicherheit als offene Kanäle, da sie vor Verschüttung durch Steinfall geschützt sind. Mitunter staffelförmiger Stollenbau (Chède im Arvefluß, Frankreich).***) Die **Berechnung der Stollenquerschnitte** erfolgt bei freiem Fluß entsprechend

wie bei Kanälen, bei Druckstollen nach den Gesetzen für Rohrleitungen. Weiteres über hydraulische Berechnungen dieser Art s. Mattern, Abschn. „Talsperren“ im Handbuch der Ingenieurwissenschaften IV. Aufl., III. Teil, II. Bd., sowie Köhn, XIII. Bd.

Druckleitungen. Es reichen im allgemeinen noch schwache Talgefälle von $1:100$ und weniger hin, um durch den Einbau einer

*) Z. d. V. d. I. 1906 S. 760.

) Z. f. B. 1900. *) De la Brosse, Les Installations Hydro-Électriques S. 43.

Druckleitung wirtschaftliche Erfolge zu erzielen. **Linienführung** der Druckleitung möglichst ohne Höhen- und Tiefenpunkte zur Vermeidung von Luftansammlungen und Ablagerungen. Doch haben neuere Erfahrungen (Nordhausen, Abb. 17) erwiesen, daß Druckleitungen sich selbst bei wellenförmiger Linienführung gut bewähren, wenn genügende Sicherungsvorrichtungen vorhanden. Wahl der richtigen Rohrweite technisch und wirtschaftlich von Bedeutung. Die Reibungshöhen wachsen unverhältnismäßig, wenn $v > 1$ m. In kurzen Leitungen v bis etwa 3 m. Für Rohransatz und Ablagerungen 20 vH Zuschlag zum theoretischen Abführungsvermögen (s. I. Bd. S. 287).

Material der Rohre. Bei Druckrohren bis 10 at Innendruck Schmiedeeisen und Gufseisen im allgemeinen gleichwertig, so daß die Kostenfrage entscheidet, bei höherem Druck Schmiedeeisen wegen größerer Betriebssicherheit vorzuziehen. Schmiedeeiserne Muffenrohre ohne Quernähte bis 6 m Länge. Länge nicht > 10 m wegen der sonst eintretenden Förderschwierigkeit, besonders im Gebirge. Neuerdings Schweissung bis 3 m Lichtweite, Schweißnaht 95 vH, Nietnaht 70 vH der Blechfestigkeit.

Die Berechnung der Wandstärke kann erfolgen nach $\delta = \frac{D \cdot p}{2 K_s}$, worin D Rohrdurchmesser in cm, p innerer Druck in kg/qcm, δ in cm, K_s die Beanspruchung in kg/qcm.

Man rechnet für Schmiedeeisen $K_s = 600$ bis 800 bei 5- bis 6-facher Sicherheit, für Gufseisen $K = 200$ kg bei etwa 7-facher Sicherheit (weiteres s. I. Bd. S. 513). Bei Lagerung auf unsicherem Untergrund oder einseitigem Druck ist es notwendig, die Wandstärke für die äußere Beanspruchung zu berechnen. Zweckmäßig wächst die Wandstärke mit steigendem Druck stufenmäßig, so daß die Einheitsbeanspruchung die gleiche bleibt. Weiteres über die Berechnung der Wandstärken s. I. Bd. S. 624 u. f.

Hölzerne Druckrohre vereinzelt in Amerika. Neuerdings öfters Eisenbetonrohre. Ueber die Berechnung s. Zeitschr. Beton u. Eisen 1906 S. 218.

Abdichtung der Rohre. Muffendichtung üblich; einfach und nachgiebig bei Senkungen und Kurven. Flanschendichtung (Abb. 10 u. 11)

Abb. 10. Abdichtung mittels Kautschuk- und Flacheisenring.

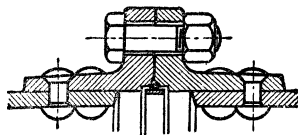
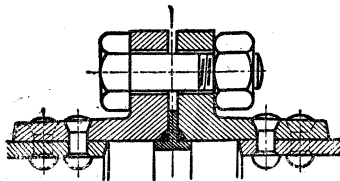


Abb. 11. Abdichtung mittels \perp -Eisenring und Kautschukschnüren.



meist nur im Innenraum oder für kurze freiliegende Druckstränge auf fester Unterlage (Abb. 12). Bis 10 at Innendruck Abdichtung durch

Abb. 14.

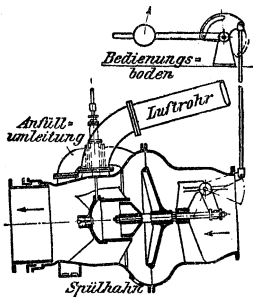


Abb. 12.

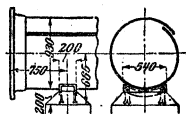


Abb. 13. Keiltörmige Muffendichtung der Hochdruckleitung Abb. 17.

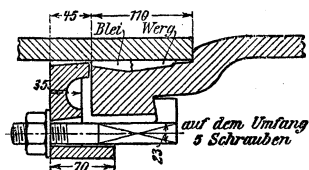


Abb. 15. Standrohre der Druckleitung von Champ (Isère)

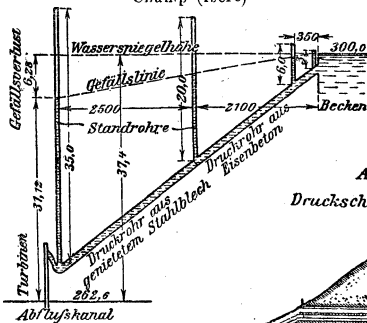


Abb. 16. Schacht zum Ausgleich der Druckschwankungen (Urftalsperre).

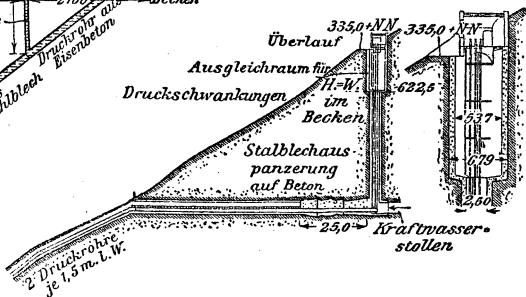
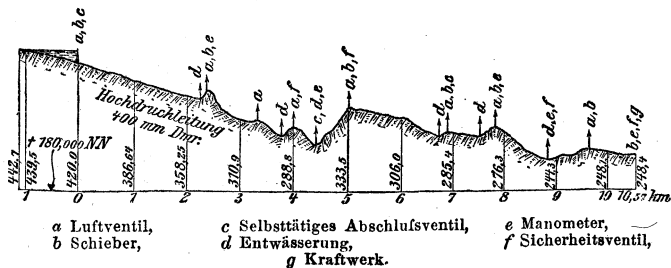
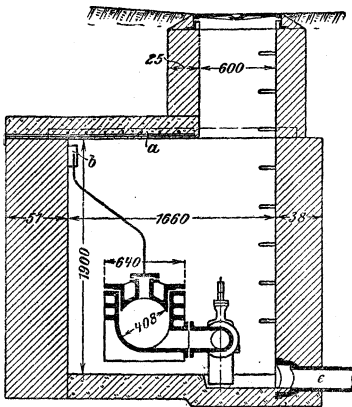
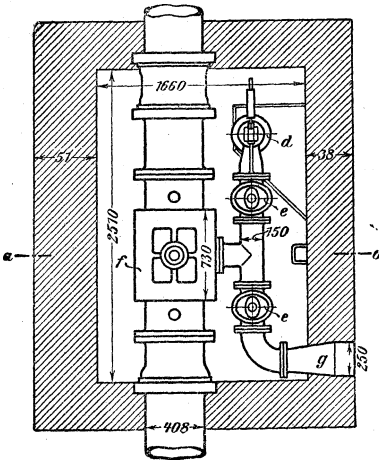


Abb. 17. Hochdruckleitung mit Ausrüstung (Gefälle 192 m).



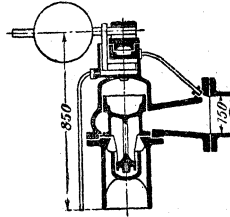
Hanfstrick, Bleiverguß und Verstemmung. Für größeren Druck keilförmige Muffen mit Rillen. Bei sehr hohem Druck außerdem Schellen,

Abb. 18 u. 19. Armaturenschacht der Hochdruckleitung (Abb. 17).



a Eisenbetonplatte, d Sicherheitsventil,
b Manometer, e Schieber,
c Entwässerung, f Reinigungskasten,
g Abfußrohr.

Abb. 20. Sicherheitsventil
(d in Abb. 18).



die das Ausbleiben des Bleies verhindern (in der Schweiz bis 600 m), bewährt (Abb. 13).

Ueber die **Berechnung** der notwendigen Druckhöhen und Reibungswiderstände s. I. Bd. S. 287 u. f.

Ausrüstungen und Sicherungen an Druckleitungen und Stollen. Für den gewöhnlichen Betrieb Abschlufs der Leitung durch Spindelschieber oder Drosselklappen. Zur Entfernung von Luftsammlungen selbsttätige Entlüftungsvorrichtungen, in Tiefenpunkten Entwässerungsschieber.

Besondere Einrichtungen zur **Verhütung von Leerlaufen, unzulässigen Drucksteigerungen und Geschwindigkeitsänderungen** des Wasserlaufs, vor allem bei wellenförmiger Linienführung nötig. Meist selbsttätig. Der Rohrschlufs durch Ventil tritt infolge der Stofswirkung des Wassers ein, sobald beim Bruch des Rohres eine gewisse Geschwindigkeit überschritten wird (Abb. 14).

Druckschwankungen am gefährlichsten im unteren Teile in der Nähe des Krafthauses.

Zum Ausgleich der Schwingungen der Wassersäule, die sich bei schnellem Schlufs bis auf 50 vH des hydraulischen Druckes steigern können: 1. Windkessel (veraltet), 2. Standrohre (Abb. 15 und 16), 3. Sicherheitsventile mit Gewichts- oder Federbelastung, 4. Selbsttätige Druckregulatoren mit Leerlauf. Zulässige Drucksteigerung, bis die Entlastung eintreten mufs, etwa 10 bis 15 vH. Näheres Pfarr, Turbinen für Wasserkraftbetrieb S. 744. Ferner Z. d. ö. I. u. A. V. 1905 S. 417, 1907 S. 309 und II. Bd. 7. Abschn. S. 312. Ausdehnungsvorrichtungen bei Rohrleitungen, die in Erde liegen, nicht nötig, bei freiliegenden Rohren mitunter angewandt.*) Bemerkenswertes Beispiel für die Ausrüstung einer Druckleitung von 192 m Gefälle mit vielen Höhen- und Tiefenpunkten s. Abb. 17 bis 20 (Hochdruckleitung der Talsperrenanlage mit Kraftwerk der Stadt Nordhausen a. H.).

Gefällgewinnung an natürlichen Seen. Diese kann geschehen:

1. durch Anschneiden des Sees mittels Tunnel (Abb. 21),
2. mittels Aufspeicherung durch Aufstau des Sees (Abb. 22),
3. durch Vereinigung der Mittel 1 und 2 (Abb. 23).

Abb. 21.

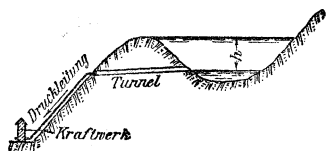


Abb. 22.

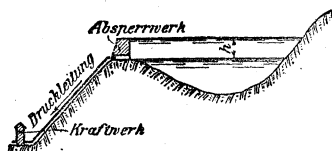
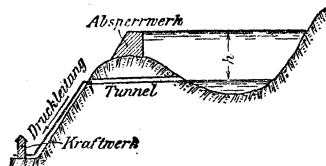


Abb. 23.



Ueber die Nutzbarmachung von Seen zu Kraftzwecken in Norwegen s. Z. f. B. 1900, Z. d. B. 1911 S. 107, in Schweden Z. f. B. 1911. In Deutschland bemerkenswert das Walchenseeprojekt in Bayern (Gefällgewinn 200 m).

Gewinnung von Gefällhöhe durch Aufstauung im Sammelbecken. Das

Kraftgefälle wird dadurch gewonnen, daß der Schwerpunkt des gestauten Wassers gehoben wird. Bei großen Becken wird wegen der nicht wesentlichen Wasserspiegelschwankungen etwa zwei Drittel der gesamten Stautiefe als mittleres Nutzgefälle nutzbar. Dieses Eigengefälle kann noch gesteigert werden, wenn im unteren Beckenraum ein „eiserner Bestand“ geschaffen wird, der im laufenden Betriebe stets unberührt bleibt (s. S. 624).

Nutzbarmachung von Wassergefälle durch Gewinnung von Druckluft. Die Energie des fallenden Wassers wird in Druckluft umgesetzt,

*) U. a. Luzern-Engelberg, Schweiz. Bauztg. Bd. XLVIII. Ueber die Konstruktion der Rohre, Rohrverbindungen, Ventile und Absperrschieber usw. s. I. Bd. S. 954 u. f.

die zum Antrieb von Arbeitsmaschinen unmittelbar Verwendung finden kann. Näheres Mattern, Die Ausnutzung der Wasserkräfte II. Aufl. 1908 S. 238.

V. Das Kraftwerk und seine Einrichtung.

Lage des Kraftwerks möglichst nahe am Verbrauchsort, bei Ueberlandzentralen günstig im Schwerpunkt des Verteilungsgebietes. Dann die Energieverluste und Leitungskosten am geringsten. Bei Hochdruckwerken ist oft die Vorflut eines natürlichen Wasserlaufes bestimmend. In Triebwerkskanälen liegt das Kraftwerk günstig, wo ein Abfall des Geländes vorhanden ist. Lage zum Stromstrich normal oder (wie meist) unter einem Winkel dazu, um Eingriff in das Ufer und vermehrte Erdarbeiten zu vermeiden.

Bauliche Einrichtung im allgemeinen. Sie ist durch den Zweck des Werkes bedingt. Ausbildung des Unterbaues im Kraftgebäude verschieden, je nachdem Hochdruck- oder Niederdruckbetrieb.

Niederdruckwerke arbeiten mit kleinem Gefälle und großer Wassermenge, Hochdruckwerke nutzen hohes Gefälle und kleines Betriebswasser. Die Grenze für die Unterscheidung liegt etwa bei 10 m. Den Hochdruckturbinen, die in eisernen Gehäusen eingeschlossen sind, wird das Betriebswasser in Rohrleitungen zugeführt, die Niederdruckturbinen stehen frei im Wasser und unter dem Wasserspiegel des Oberwassers.

Raumbemessung. Auf den Grundriss ist neben der Grösse der nutzbar zu machenden Kraft die Art des Turbinensystems sowie die Zerlegung in Krafteinheiten von Einfluss. Schnelldrehende Hochdruckturbinen erfordern weniger Platz als Niederdruckturbinen. Den meisten Raum bedingen Wasserräder. Unmittelbare Kupplung der Kraft- und Arbeitsmaschinen (Dynamos) auf einer Welle führt neben geringsten Kraftverlusten zur Raumersparnis.

Übersichtlichkeit und Zentrallsierung des Betriebes bedeutsam. Nebeneinanderstellen der Maschinen in einer langen Linie zweckmässig, daraus ergibt sich als kennzeichnende Form großer Kraftgebäude der langgestreckte, rechteckige Grundriss. Für die vorläufige Grössebemessung des Kraftgebäudes wird man die Angaben der Tab. 5 u. 6 benutzen können.

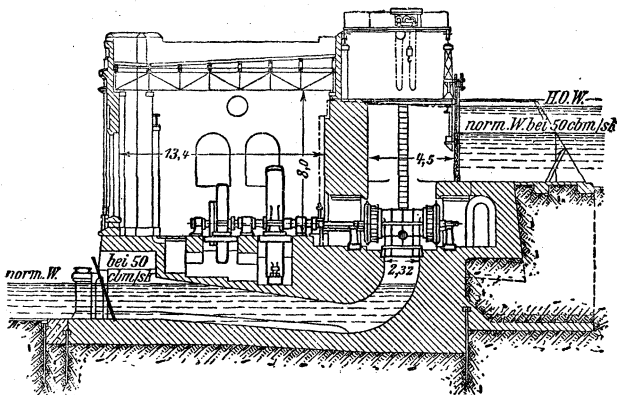
Ausbau des Kraftgebäudes. Heller, hallenartiger Ausbau des Maschinenraumes in einer Ebene mit nur einem Stockwerk empfehlenswert. Hier die Reguliervorrichtungen unterbringen, während die Rohrleitungen mit den Schiebern und Kabel unter dem Fussboden in einem begehbaren Zwischenstockwerk oder Anbau liegen. Maschineller (selbsttätiger, soweit zugänglich) Antrieb aller Hülfsrichtungen zu bevorzugen. Gute Zugänglichkeit der Maschinen wahren. Laufkran für die Montage der Maschinen und spätere Ausbesserungsarbeiten ist anzuordnen. Mefseinrichtungen für Wasserverbrauch, Krafterzeugung, Kraftabgabe usw. Bei elektrischem Betrieb ist ein Raum für die Schaltanlage sowie für die Unterbringung der Transformatoren, Akkumula-

toren, Blitzschutzeinrichtungen, Mefsstellen der elektrischen Energiegaben usw. notwendig. Ferner sind vorzusehen Werkstätte für Ausbesserungsarbeiten, Lager-, Bureau- und Arbeitsräume und sonstige Nebenräume (Heizung). Bei abgelegenen Kraftwerken werden Wohnräume für den Maschinenmeister und seine Hilfskräfte zu schaffen sein. Architektur einfach und der Zweckbestimmung entsprechend.

Es ist empfehlenswert, die wasserbaulichen Anlagen (z. B. Wehr, Betriebskanal, Stollen usw.) sowie die Grundmauern des Krafthauses gleich im Anfang voll auszubauen, auch wenn die ganze Ausnutzung zunächst noch nicht zu erwarten. Der Ausbau der Maschinen und elektrischen Anlagen wird dem steigenden Bedarf angepaßt.

Turbinenkanäle in Mauerwerk. Beton sehr geeignet für die geschwungenen Formen. Eisenbeton weniger anwendbar, weil die geringen Massen den dynamischen Wirkungen beim Gang der Turbinen nicht genügend entgegenwirken, auch nicht immer billiger. Jedoch neuerdings angewandt bei Anlagen in Amerika und Schweden. Er-

Abb. 24.



fahrungen fehlen noch. Eiseneinlagen bei sonst kräftigen Abmessungen der Kammerwände u. Umst. empfehlenswert, um Rissebildung zu vermeiden. Jede Turbinenkammer erhält zweckmäßig eine gesonderte Zuführung und Ausmündung. Einzelheiten über die Form der Turbinenkanäle, Druckrohre und den Einbau der Turbinen s. Abb. 24 (Gersthofen am Lech). Vor den Turbinenkammern Einrichtungen zur Ablagerung (Sandfänge) und Beseitigung von Unreinlichkeiten (Spülschleusen) sowie Rechen zum Aufhalten schwimmender Gegenstände. Feinrechen erhalten 25 bis 30 mm Maschenweite. Oeftere Reinigung der Rechen nötig. Geschieht zweckmäßig mechanisch. In nordischen Gegenden Gefahr der Versetzung der Rechen und Turbinen durch Eis. Erfahrungsmäßig wirkt die Grundeisbildung am ungünstigsten so lange, bis die

Oberfläche des Kanals übergefroren ist. Daher ist die beste Sicherheit gegen Betriebsstörungen ein großes tiefes Vorbecken nächst dem Rechen am Maschinenhause, wo das Wasser bald gefriert. Weitere Mittel sind: Aufleiten warmen Wassers auf die Rechenstäbe (Isarwerke). Ueber Eisabweiser und Eisschleusen am Kraftwerk in Schweinfurt s. J. G. W. 1907 S. 406. Ueber Eisversetzungen an den Niagara-Kraftwerken s. Engin. News Nov. 1905. Wegen der Eisgefahr hat man bei neueren Anlagen in Schweden den Maschinenraum tiefliegend im Felsen durch Aufsprengung geschaffen (Mockfjärd, Porjus). Weiteres s. auch Lüscher, Das Grundeis und Störungen in Wasserläufen und Wasserwerken.

**Tabelle 5. Grundfläche der Kraftgebäude
einschl. Nebenräume nach Quadratmetern
für 1 PS der Maschinenstärke.**

Maschinenstärke in PS	Quadratmeter der Grundfläche
um 1 000	0,31
2 000 bis 5 000	0,14
5 000 „ 10 000	0,12
10 000 „ 20 000	0,08
20 000 „ 40 000	0,04

**Tabelle 6.
Grundrissabmessungen einiger amerikanischer Kraftanlagen.**

Kraftwerk	Länge	Breite	Zahl der Generatoren	Gesamte Leistungsfähigkeit in Kw	Bemerkungen
Niagara Nr. 2. .	149,0	21,6	11	41 250	Die Turbinen haben wagerechte Achsen — mit Ausnahme des Niagarawerkes — und sind mit den Generatoren unmittelbar gekuppelt.
Sault St. Marie .	410,0	33,0	80	320 000	
Colgate . . .	82,5	12,0	7	11 250	
Electra . . .	62,0	12,0	5	10 000	
Canon Ferry . .	67,5	15,0	10	7 500	
Red Bridge . .	42,3	17,1	6	4 800	
Santa Ana River	38,1	10,8	4	3 000	
Great Falls . .	20,2	16,5	4	2 000	
Birchem Bend .	16,8	7,3	2	800	

Maschinenstärke. Auflösung der Gesamtkraft in Maschineneinheiten — jedoch nicht zu viele — ist erwünscht, um sich den Schwankungen des Kraftbedarfs anpassen zu können. Für diesen Zweck werden selbst bei großer Kraft 8 bis 10 Einheiten genügen.

In Einzelbetrieben, die ohne Wasserausgleichsvorrichtungen arbeiten, wird die Maschinenstärke (Betriebswassermenge S. 623) entsprechend 0,4 bis höchstens 0,6 der mittleren Abflussmengen bemessen, wonach unter Berücksichtigung des Nutzgefälles die Leistung in PS nach S. 616 berechnet wird. Für öffentliche Elektrizitätswerke usw. sind die Schwankungen des Verbrauchs maßgebend. Hier wird die gesamte Maschinenstärke bis auf das Doppelte der mittleren

Leistung des Werkes bemessen, falls nicht Aufspeicherung in Akkumulatoren für die größten Spitzen des Bedarfs stattfindet. Die Verhältnisse des Einzelfalles müssen hiernach untersucht werden. Im Eisenbahnbetrieb ist wegen der sehr großen Schwankungen des Kraftbedarfs beim Anfahren der Züge, starkem Verkehr aus besonderen Anlässen, auf Steigungen usw. die größte Maschinenstärke auf etwa das Fünffache der mittleren Leistung zu bemessen. Auf je 3 bis 4 Maschinensätze eine Maschine als Aushilfe (Reserve).

Die Wassermotoren.*) Wasserräder nur noch wenig und für kleine Wassermengen im Gebrauch (Wassermühlen), Wirkungsgrad 60 bis 80 vH.

Turbinen. Für die Wahl des Turbinensystems ist vor allem das Gefälle maßgebend. Grundanforderungen nach Camerer: 1. Sicherheit des Betriebes. Dazu gehört Einfachheit, kräftige Ausführung, leichte Bedienung und Auswechslung aller Teile. Bequeme Aufstellung der Turbine in beliebiger Lage. Großer Querschnitt zur Vermeidung des Verstopfens der Kanäle. 2. Hoher Wirkungsgrad für gleichbleibende Umdrehungszahl, auch bei wechselndem Gefälle und Wasserzufluss. 3. Leichte Regulierbarkeit. 4. Anpassungsfähigkeit an gewünschte Umdrehungszahlen.

Senkrechte Wellen erfordern weniger Grundfläche und geben günstigere Arbeitsräume, wagerechte Wellen ermöglichen sichere Lagerung und günstigen Antrieb des Dynamos. Für kleinste Gefälle bis herab zu 0,5 m und steigend bis etwa 10 m hauptsächlich die Francisturbine im offenen Schacht im Gebrauch (gute Regulierbarkeit), darüber hinaus bis etwa 100 m die Francispiralturbine im geschlossenen Gehäuse. Wirkungsgrad praktisch bis 80 vH. Für noch höhere Gefälle findet das Peltonrad (Tangentialrad) Anwendung. Wirkungsgrad praktisch bis 80 vH, besonders vorteilhaft für sehr hohe Gefälle (Amerika, Nordhausen). Bei starkem Gefällewechsel zur Erzielung gleichbleibender Kraitleistung und Umdrehungsgeschwindigkeit mitunter 2 Turbinen auf senkrechter Welle übereinander.

VI. Fernübertragung der Wasserkräfte.**)

Kurze Uebertragungen durch Zahnradvorgelege oder Seilzug. Beide Arten jedoch veraltet. Auch die Uebertragung mittels Druckwassers (Wasserkraftwerk La Coulouvrenière in Genf) oder Druckluft wenig im Gebrauch. Jetzt fast nur elektrische Fernleitung. Fernübertragungen heute dauernd bis auf 400 km, vorübergehend bis auf 600 km praktisch erprobt (De Sabla, Kraftwerk, Kalifornien). In Deutschland kommen Uebertragungsstrecken von 40 bis 50 km vor. Spannungen bis 110 000 V und darüber in Anwendung, in Freileitungen in Amerika im Betriebe bewährt.***) Beim Ausbau des Kraftwerkes für elektrischen Betrieb muß möglichst hohe Betriebssicherheit angestrebt werden, da meist ausgedehnte Gewerbe, Beleuchtungsanlagen und Bahnen angeschlossen sind. Als Stromart meist Wechselstrom in Form von Drehstrom üblich, doch scheint der Gleichstrom für sehr hohe Spannungen und weite Entfernung nicht ohne Zukunft zu sein. Wichtig für wirtschaftliche Berechnungen ist der Wirkungsgrad der Anlage, der durch die Kraftverluste bestimmt wird. Diese Verluste treten ein in den Wassermotoren, bei der elektrischen Umsetzung,

*) Weiteres s. im II. Bd. 7. Abschn. S. 280 und Pfarr, Die Turbinen für Wasserkraftbetrieb.

**) Weiteres s. II. Bd. 1. Abschn. S. 296; ferner Japing-Zacharias, Die elektrische Kraftübertragung, Wiemund, Leipzig 1906; Adams, Electric Transmission of Water Power, New York 1906; Mattern, Ausnutzung der Wasserkräfte, II. Aufl., Leipzig 1908, S. 308; Hopps, Wie stellt man Projekte, Kostenanschläge und Betriebskostenberechnungen für elektrische Licht- und Kraftanlagen auf?

***) Siehe u. a. Z. d. V. d. I. 1910 S. 1377 u. 2196.

im Fernleitungsnetz, bei der Transformierung (Spannungserhöhung oder -Erniedrigung), in den Akkumulatoren, bei der Umformung des Stromes und in den Arbeitsmaschinen (Motoren).

Man wird bei 3000 bis 5000 V Erzeugungsspannung, einer Fernleitungsspannung bis 40 000 V und den üblichen Gebrauchsspannungen von 120 bis 220 V (Beleuchtung) und 500 V (Kraftbetrieb) und auf Entfernungen bis etwa 50 km für vorläufige Aufrechnungen folgende Werte annehmen dürfen:

	Wirkungsgrad vH
Generator (Gleichstrommaschine oder Wechselstrommaschine) . . .	93 bis 95
Transformator im Kraftwerk	97
Hochspannungsleitung	95
Transformator in der Unterstation	98
Zuleitung von der Unterstation zu den Einzeltransformatoren . . .	98 bis 99
Transformierung auf die Gebrauchsspannung und bis zur Abgabe . . .	96
Akkumulatoren	75 bis 80
Bufferbatterien	85 „ 90
Umformung, Wechselstrom in Gleichstrom	90
Motor	90

Der Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Umsetzung und Uebertragung bis zur Abgabe an die Verbraucher ist somit i. M. etwa 80 vH. Dazu treten dann noch die Verluste in den Hausleitungen und Werkstattmotoren, die man i. M. zu 10 bis 15 vH annehmen kann. Weitere Verluste sind verbunden, wenn etwa die Umformung von Wechselstrom (Drehstrom) in Gleichstrom erforderlich ist, wobei der Wirkungsgrad i. M. 90 vH ist. Die Akkumulierung hat 20 bis 25 vH Kraftverlust zur Folge. Demgemäß berechnet sich die nutzbare Leistung der rohen Wasserkraft:

Kraftumsetzung	Wirkungsgrad	
	ohne Fernleitung	mit Fernleitung
Turbine	0,80	0,80
Elektrische Umsetzung	0,95	0,80
Arbeitsmotor	0,90	0,90
Nutzbare Leistung der rohen Wasserkraft	0,685	0,576

Die Grenze der Fernübertragung wird wirtschaftlich beeinflusst durch die Energieverluste und Kosten des Leitungsnetzes, technisch durch die Forderungen der Betriebssicherheit.

VII. Wasserkraftnutzung an kanalisierten Flüssen.

Der Bedarf der Schifffahrt für das Speisungswasser der Schleusen, Verlust durch Undichigkeit an den Wehren usw. beträgt an kanalisierten Flüssen nur wenige Kubikmeter sekundlich, so daß von dem

*) Weiteres s. Prüssmann, Ausnutzung der Wasserkräfte an Wehren kanalisierter Flüsse, IX. Internationaler Schifffahrts-Kongress 1902; Werneburg, Rentabilität der Moselkanalisierung, Saarbrücken 1906; derselbe, Rentabilität der Saarkanalisation, Saarbrücken 1906; s. a. Z. d. B. 1897, Mattern, Ausnutzung der Wasserkräfte, 2. Aufl., Leipzig 1908 S 364 u. 490; Bresson, La Houille Verte, Paris 1906; Intze, Nutzbarmachung erheblicher Wasserkräfte durch den Masurischen Schifffahrtskanal usw. — Ueber die Ausnutzung der Wasserkräfte beim Bau der neuen Wasserstraßen in Oesterreich s. Oesterr. Wochenschr. f. d. öffentl. Baudienst 1905, Heft 15, 21 u. 22.

Unterbrechung des Betriebes bei großem Hochwasser nicht bedenklich, da dann auch die Schifffahrt ruht. Mindestgefälle 0,5 m. Wassergeschwindigkeit im Schleusenkanal darf bis 60 cm/sk betragen. Ausgeführte Anlagen am Oder-Spree-Kanal, am Dortmund-Ems-Kanal (Abb. 27, Münster),*) an der Saar, am Kanal Berlin—Stettin, Moldaukanalisierung,**) Weser (Dörverden und Hemelingen), Oderkanalisierung, Mayenne***) (Frankreich) usw.

VIII. Vereinigung von Wasser- und Wärmekraft.

Wo durchaus gleichmäßige Kraftabgabe stattfinden muß, ist Dampfaushilfe erforderlich, sofern nicht Wasserausgleich durch Sammelbecken oder Tagesweiher möglich. Die Stärke der Aushilfsanlage hängt ab von der geringsten Betriebswassermenge in trockener Zeit. Mitunter genügt eine nur teilweise Ergänzung. Das Produkt aus der fehlenden Betriebswassermenge (Mangelwasser) und Nutzgefälle des Kraftwerkes gibt die Stärke der Ergänzungsleistung. Es kann auch in Betracht kommen, die Aushilfe erst für den späteren Ausbau heranzuziehen. Vorteilhaft ist es, bestehende Wärmekraftanlagen zur Ergänzung zu benutzen, indem die an sich notwendigen Reservemaschinen für diesen Zweck verwertet werden. (Talsperrenkraftwerke Solingen und Nordhausen.)

IX. Die Kosten der Wasserkräfte.†)

Die Kosten des Ausbaues werden sehr beeinflusst durch die örtlichen Verhältnisse und Lage des Werkes zum Verbrauchsmittelpunkt. Hochdruckwerke sind, auf die Krafteinheit bezogen, im allgemeinen billiger als Niederdruckwerke, den gleichen Vorteil bieten große Zentralwerke gegenüber kleinen Betrieben. Den Hauptanteil an den Gesamtkosten haben die Aufwendungen für die hydraulischen Anlagen (Talsperren, Wehre, Betriebskanäle, Stollen, Turbinenkammern), denen gegenüber die Ausgaben für die Maschinen zurücktreten. Einen wesentlichen Kostenanteil bei Ueberlandzentralen nimmt aber auch das Verteilungsnetz. Die Baukosten (ohne elektrischen Ausbau) schwanken bei Niederdruckwerken etwa zwischen 500 und 1000 Mark, bei Hochdruckwerken zwischen 400 und 600 Mark für 1 PS. Sie können aber unter günstigen Umständen wesentlich geringer sein. Die elektrische Fernleitung bei Ueberlandzentralen erfordert etwa 25 bis 30 vH, der Grunderwerb bei Talsperrenanlagen 10 bis 20 vH der Gesamtkosten.

*) Z. f. B. 1901/02.

**) Ueber die hydro-elektrische Ausrüstung der Schleuse von Horin s. Z. ö. I. u. A. V. 1906 S. 197.

***) Bresson, La Houille Verte. Paris 1906, S. 59.

†) Ueber die Kosten von Wasserkraftanlagen s. v. Miller, Die Wasserkräfte Bayerns, Z. d. V. d. I. 1903 S. 1006; Köhn, Ausbau von Wasserkraften; Mattern, Die Ausnutzung der Wasserkraft, II. Aufl. 1908 S. 388; ferner über angenäherte Preise der Maschinen, der elektrischen Einrichtungen, des Fernleitungsnetzes usw.: Hoppe, Projekte, Kostenanschläge und Betriebskostenberechnungen für elektrische Licht- und Kraftanlagen.

Ueber die tatsächlichen Baukosten einiger neuerer Wasserkraftanlagen s. Tabelle 7.

Kostenschätzungen können erfolgen nach Maßgabe ausgeführter Anlagen, Kostenberechnungen sollten stets auf der Grundlage genauer Massen- und Einzelpreisermittlungen stattfinden.

Tabelle 7. Ausführungskosten von Wasserkraftanlagen.

Ort	Gefälle m	Leistung PS	Gesamt- baukosten M	Kosten für 1 PS M	Bemerkungen
Schaffhausen . . .	4,2 bis 4,8 bzw. 3,5 bis 4,5	2 700	1 460 000	540	Zwei getrennte Wasserkraftwerke im Rhein, einschl. Kraft- und Lichtverteilungsnetz.
Gersthofen am Lech	10 bis 10,5	6 000	3 250 000	540	Ohne Grunderwerb und den elektrischen Teil, aber mit Turbinen und Kammerschleusen.
Heimbach (Urftal- sperre)	70 bis 110	16 500 *)	10 500 000	636	Einschl. Sammelbecken von 45,5 Mill. cbm Stauinhalt und Verteilungsnetz auf 20 bis 30 km. *) Einschl. Reserve.
Rheinfelden . . .	2,8 bis 4,9	16 800	4 900 000	290	Mit elektrischen Anlagen.
Kraftwerk der Stadt Lyon (Jonage) . .	10 bis 12	22 750	26 000 000	1150	Mit 18,6 km langem Betriebskanal, einschl. der maschinellen und elektrischen Anlagen.
Chédde	139	10 000	—	120 170	An der Turbinenwelle. Einschl. elektr. Einrichtung.
Champ	37,4	5 300	3 600 000	436 950	An der Turbinenwelle. Einschl. elektr. Anlagen.
Luzern-Engelberg .	300	16 000	4 160 000	260 *)	*) Die Kosten des maschinellen und elektrischen Teiles sind darin nur für 9000 PS enthalten; 28 km Fernleitung u. Verteilung in Ortschaften.
Kykkelsrud	18,7	28 000	5 600 000	200	
Kanderwerk (Schweiz)	65	6 000	4 100 000	680	Einschl. der elektrischen Fernübertragung.
Schweinfurt	2,5	800 PS Wasserkraft	750 000 *)	440 470	Ohne elektr. Einrichtung. *) Einschl. der Kosten für eine Dampfaushülse von 800 PS.

X. Ertragsberechnungen.

In den Ertragsberechnungen von Wasserkraftanlagen müssen folgende Größen zahlenmäßig auftreten:

1. Die **Betriebsausgaben** (Zinsen, Tilgung der Baukosten, Unterhaltung, Löhne, dauernde Lasten, gegebenenfalls zugleich für Wärmekraftaushülse) meist in Hundertsteln

der Anlagekosten in Ansatz zu bringen. Die jährlichen Betriebsausgaben betragen etwa 10 bis 15 vH des angewendeten Kapitals, näheres s. Tabelle 8 und Hoppe, Projekte, Kostenanschläge und Betriebskostenberechnungen für elektrische Licht- und Kraftanlagen.

Tabelle 8. Gesamte Betriebskosten von Wasserkraftanlagen in Hundertstein der Anlagekosten. Zinsfuß: 3,5 vH.

Bau	Unterhaltung, Ver- zinsung, Til- gung, Ver- waltung bzw. Bedienung vH	Unterhaltung, Be- dienung u. Betrieb vH	Tilgung	Bemerkungen
Große Talsperren ohne Kraftwerk	4 ¹ / ₄	1 ¹ / ₄	1 ¹ / ₂	Bei Dampf-Elektrizitätswerken rechnet man für Verzinsung u. Tilgung 6 bis 8 vH des gesamten Anlagekapitals (Gebäude, Maschinen und Leitungsnetz nebst Ausrüstung); für die unmittelbaren Betriebskosten 6 bis 7 vH. Die Kosten der Zentralverwaltung (Betriebsbureau) bei größeren Kraftwerken kann man zu 1,5 vH annehmen.
Große Talsperren mit Kraftwerk: ohne elektr. Uebertrag. mit „ „	5 10	1 ¹ / ₂ bis 3 ¹ / ₄ 2	1 4	
Kleinere Talsperren, Wehre, Betriebskanäle, Stollen u. ähnl. Werke der Wasserfassung .	6 bis 7	1 ¹ / ₂	1 bis 2	
Maschinen, elektrische Anlagen, Leitungs- netze: große Anlagen . . .	10	2	5	
mittlere Anlagen bis etwa 10 000 PS Leistung .	12 bis 15	4 bis 5	5 bis 7	
Kraftgebäude	6 ¹ / ₂ bis 8	1	2	
Druckrohrleitungen und ähnliche Leitungen in der Erde	5 bis 6	1 ¹ / ₂	1 bis 2	
Wasserkraftanlagen mitt- lerer Größe: ohne elektr. Uebertrag. mit „ „	10 bis 11 12	3 4	3 bis 4 4,5	

2. Die **verfügbare Kraft** (aus dem Wasserwirtschaftsplan zu entnehmen, s. S. 624) nach PS oder Kw als Leistung des Werkes oder nach Jahrespferdekraft- und Kilowattstunde.

3. Die **Selbstkosten**. Man erhält die Selbstkosten, indem man die Betriebsausgaben dividiert durch nutzbare Leistung des Kraftwerkes, letztere wird bezogen auf die Nutzeinheit, z. B. Pferdekraft- oder Kilowattstunde, Jahrespferdekraft. Ueber Selbstkosten in deutschen öffentlichen Elektrizitätswerken s. Hoppe, Die Elektrizitätswerkbetriebe im Lichte der Statistik.

4. Die **voraussichtlichen Einnahmen** als Produkt der Leistung des Werkes und des erzielbaren Preises für die nutzbar abgegebene Krafteinheit. Der erzielte Preis der Kraft hängt enge mit der gesamten wirtschaftlichen Lage des Bezirks zusammen und muß der Marktlage und den Betriebsverhältnissen der Abnehmer angepaßt werden (s. unter Krafttarif). Ueber die durchschnittlichen jährlichen Einnahmen für die nutzbar abgegebene Kilowattstunde s. XI. Krafttarif.

5. Der **Reingewinn** als Unterschied der Einnahmen und Ausgaben. Ein Bruttoüberschuß von 10 vH des gesamten Anlagekapitals ist zur Deckung der Verzinsung, Tilgung und Abschreibung nötig, falls das Betriebsergebnis als ein günstiges bezeichnet werden soll.

Der **vermutliche Absatz** für zu begründende Ueberlandzentralen wird festgestellt durch **Umfrage** in den in Betracht kommenden Abnehmerkreisen oder auf der Grundlage der Statistik der Elektrizitätswerke s. Hoppe, Die Elektrizitätswerkbetriebe im Lichte der Statistik.

Durchgerechnete Beispiele von Ertragsberechnungen s. Röttlinger, Wertbestimmung von Wasserkraften, Leipzig 1908 und Mattern, Ausnutzung der Wasserkräfte, II. Aufl., Leipzig 1908 S. 417, Köhn, Handb. d. l. W. III. 13, 4. Aufl., Leipzig 1908.

XI. Krafttarif.

Die Selbstkosten bei hydroelektrischen Werken ergeben sich überwiegend aus stehenden Lasten (Zinsen, Tilgung usw.). Wechselnde Betriebskosten, die bei den Wärmekraftanlagen stark ins Gewicht fallen (Kohlenverbrauch), treten zurück. Daher sind die Einheitskosten fast gleichbleibend fürs Jahr, ungeachtet schwacher oder starker Belastung des Werkes. Der Betrieb wird somit wirtschaftlich um so vorteilhafter, je gleichmäßiger die Maschinen dauernd belastet sind. Der Tarif sollte auf eine Entlastung in den trockenen Sommermonaten und Belastung in den nassen Wintermonaten hinarbeiten, um den Kraftbedarf dem ungleichen Wasserabfluß möglichst anzupassen. Daher Ermäßigung für Abnehmer, die in trockener Zeit auf Stromlieferung verzichten und das Werk nur in nasser Jahreszeit in Anspruch nehmen. Andererseits gleichmäßig dauernde Abnehmer (elektrochemische Werke) bevorzugen. Kraftpreis bei gleichmäßigem Bedarf geringer als Lichtpreis.

Strompreise der einzelnen Werke sehr verschieden. Im allgemeinen schlossen sich die Tarife der öffentlichen, hydroelektrischen Werke denen der mit Dampf betriebenen Elektrizitätswerke an, mehrfach jedoch Pauschalsätze mit Vorteil in Anwendung, z. B. Gersthofen (für kleine Abnehmer). Die Preise betragen für Licht etwa 40 bis 60, im Mittel 50 Pf., für Kraft 16 bis 25, im Mittel 20 Pf. für 1 Kw-st, meist mit abgestuftem Nachlaß bei stärkerer Abnahme. Weiteres über Strompreise s. in der Statistik der Elektrizitätswerke in Deutschland, die jährlich nach dem Stande vom 1. April erscheint und in der E. Z. zum Abdruck gelangt, s. auch die Elektrizitätswerkbetriebe im Lichte der Statistik, 1908.

ELFTER ABSCHNITT.

STRASSENBAU.*)

I. ALLGEMEINES.

A. Straßsenfahrzeuge.

1. Arten. Unterschieden je nach dem Zweck: Personenwagen, Lastwagen usw.; nach der Triebkraft: Handwagen, Gespanne, Kraftwagen mit verschiedenen Motoren; nach der Art der Straßsenbenutzung: Straßsenfuhrwerke, Straßsenbahnwagen; nach der Bauart: zwei- und mehrrädriqe Wagen, abgefederte und nicht gefederte Wagen, solche mit starrer oder elastischer Bereifung usw.

2. Hauptabmessungen. Die Länge und der Achsstand der Straßsenfuhrwerke sind maßgebend für die zulässige kleinste Straßsenkrümmung, ihre Breite und Höhe für die erforderliche lichte Weite und Höhe der Straßsenunterführungen.

Bezeichnung der Fahrzeuge	Der Fahrzeuge	
	a) Länge m	b) Achsstand m
Personenfuhrwerke	2,5 bis 4,0	1,50 bis 2,25
Lastfuhrwerke	2,5 „ 5,0	} 2,00 „ 4,00
Möbelwagen	4,0 „ 8,0	
Langholzwagen	$\frac{2}{3}$ der Stammlänge	
Kraftwagen	3,0 bis 8,0	2,00 bis 5,00

*) **Literatur:** Bauernfeind, Grundriß der Vorlesungen über Erd- und Straßsenbau, München 1875. — Dietrich, Die Baumaterialien der Steinstraßsen, Berlin 1885. — Ders., Die Asphaltstraßsen, Berlin 1882. — Germershausen, Das Wegerecht und die Wegeverwaltung in Preußen, Berlin 1900. — Goering, Massenermittlung usw., Berlin 1890. — H. d. I. W. I. Teil, 4. Bd. 4. Auflage. — H. d. B. Abt. III. — Launhardt, Theorie des Traßsieren. — Loewe, Straßsenbau, Wiesbaden 1906. — Osthoff, Die Klinkerstraßsen, 1882. — Ransch, Handbnch für Stellmacher 1892. — Beton-Kalender 1911 (Abschnitt Straßsenbau, bearbeitet von Brix). — Städtebanliche Vorträge, herausgeg. von Brix u. Genzmer, Berlin 1907—1910.

Bezeichnung der Fahrzeuge	Der Fahrzeuge	
	a) Länge m	b) Achsstand m
Strafsenbahnwagen.	6,0 bis 12,0	
α) zweiachsig:		
mit festem Radstand	6,0 „ 9,0	1,70 bis 2,00
„ Lenkachsen		1,80 „ 3,00
β) vierachsig:		
der Drehgestelle	10,0 „ 12,0	1,30 „ 1,50
zwischen den Drehpunkten		4,00 „ 5,00

c) Die **Breite** ist abhängig von der Spurweite, für Strafsenfuhrwerke: Abstand von Mitte bis Mitte Radreifen in Preußen gesetzlich vorgeschrieben = 1,52 m (vgl. Z. d. B. 1890 S. 191); in Süddeutschland = 1,10 bis 1,25 m üblich. Danach beträgt die größte Ladebreite der Fuhrwerke und Kraftwagen etwa 2,50 m, bei Erntewagen bis 3,50 m. Strafsenbahnwagen erhalten eine größte Breite bis 2,15 m (meist 2 m).

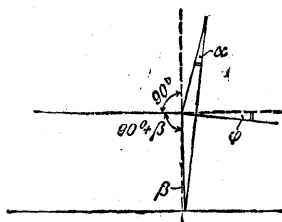
d) Die **Höhe**. Die größte Höhe von Frachtwagen (Erntewagen) beträgt etwa 4,50 m, in Städten weniger. (In Berlin ist die lichte Höhe der Strafsenunterführungen 4,40 m, in einigen Ausnahmefällen nur 4 m.)

3. Bauliche Einzelheiten.

Die **Hauptteile** eines gewöhnlichen Lastwagens sind: das Untergestell, bestehend aus dem drehbaren Vorderwagen (Drehwinkel $\alpha = \text{rd. } 30^\circ$) und dem im allgemeinen festen Hinterwagen mit dem Langbaum als Verbindung, sowie das Obergestell. An dem Vorderwagen befindet sich die Deichsel mit dem Wagscheit und den Zugscheiten bzw. bei Einspannern die Schere mit nur einem Zugscheit; an dem Hinterwagen die Bremse.

Die Bauart der Strafsenfahrzeuge ist von wesentlichem Einfluß auf die Verminderung der Bewegungswiderstände, Unterhaltung und Abnutzung der Fahrbahn sowie Lebensdauer der Fuhrwerke selbst.

Abb. 1.



a) **Räder**. Die Unterachsung $\varphi = 4^\circ 20'$ (s. Abb. 1) bezweckt das Festhalten der Räder auf den Achsen während der Fahrt. Der dadurch bedingte Radsturz $\alpha = \varphi + \beta = 4^\circ 46'$ ($\text{tg } \alpha = 1/12$ nach Rühlmann) dient zur Erzielung größerer Tragfähigkeit der Speichen durch möglichst senkrechte Druckübertragung sowie zur besseren Versteifung des Radgefüges und Sicherung gegen seitliche Stöße.

Bei Kraftwagen wird zur Erzielung größerer Sicherheit gegen Umkippen bei schneller Fahrt in scharfen Kurven die Unterachse fortgelassen und die Räder im allgemeinen rechtwinklig zur Achse angeordnet.

Der Raddurchmesser des Vorderrades ist bei Fuhrwerken kleiner als der des Hinterrades. Zweckmäßige Raddurchmesser sind:

Tafel der Raddurchmesser.

Art der Fahrzeuge	Vorderräder	Hinterräder
	m	m
Zweirädriger Frachtkarren	1,6 bis 2,00	
Land- und Frachtfuhrwerk	0,9 bis 1,4	1,1 bis 1,5
Kutsche, Omnibus usw.	0,85 „ 1,0	1,1 „ 1,4
Roll- und Möbelwagen	0,75	0,90
Kraftwagen	0,70 bis 0,90	
Straßenbahnwagen	0,80*)	

Die Felgenbreite ist in den meisten Ländern gesetzlich vorgeschrieben (vgl. Z. d. B. 1890 S. 191) und von dem größten Radruck (auf 1 cm Felgenbreite bis 125 kg) abhängig gemacht. Im allgemeinen beträgt sie für Lastwagen 8 bis 12 cm. Felgenbreiten von 12 bis 16 cm sind zweckmäßig für schweres Landfuhrwerk auf weichem Boden (Wiesen usw.).

In Preußen gilt nach den Gesetz vom 20. Juni 1887 für vierrädrige Fuhrwerke beim Befahren von Kunststraßen folgendes:

Felgenbreite	Ladegewicht	Ladegewicht für 1 cm Felgenbreite jedes Rades
cm	kg	kg
5 bis 6 $\frac{1}{2}$	2000	100
6 $\frac{1}{2}$ „ 10	2500	96
10 „ 15	5000	125
über 15	7500	125

Kippwagen auf 2 Rädern dürfen nur mit der Hälfte vorstehender Werte belastet werden. Größere Ladegewichte aus unteilbarer Last sind nur mit Genehmigung der Straßenaufsichtsbehörde zulässig. Bei 2000 kg Eigengewicht beträgt demnach das größte Wagengewicht brutto = 9500 kg (in Baden bis 10 000 kg zulässig).

Die schmiedeeisernen Radreifen sollen ebene Laufflächen haben und nicht scharfkantig sein, um das Pflaster zu schonen (besonders bei Asphaltpflaster) und das spitzwinklige Überfahren von Straßenbahngleisen zu erleichtern.

*) Bei „maximum traction“-Drehgestellen erhalten die kleinen Räder nur 0,60 m Durchmesser.

b) **Federn.** Eine gute Abfederung ist bei schnellfahrenden Fuhrwerken zur Erhaltung der Straßen und Wagen unbedingt erforderlich; dagegen ist sie bei allen Fuhrwerken, welche vorwiegend auf nicht befestigten Straßen verkehren (Holz- und Erntewagen usw.), nicht zu empfehlen.

Die Abfederung der Fuhrwerke (auch Kraftfahrzeuge) erfolgt gewöhnlich mittels langer Blattfedern in der Längs- und Querrichtung; bei leichten Wagen (Kutschen usw.) werden Querfedern meist fortgelassen.

c) **Bremsen** sind nur für leichte Fuhrwerke entbehrlich, für Lastwagen dagegen erforderlich; sie werden am Hinterwagen angebracht.

4. Gewicht der Fahrzeuge.

Art der Fahrzeuge	Eigengewicht kg	Nutzlast kg
Droschken und Equipagen . . .	600 bis 700	bis 500
Gewöhnliches Landfuhrwerk . .	600 „ 1 000	„ 3000
„ Lastfuhrwerk . . .	1 000 „ 1 300	„ 4000
Große Möbelwagen	2 000 „ 2 500	„ 6000
Kraftwagen	2 000 „ 4 000	„ 5000
Straßenbahnwagen:		
Motorwagen { zweiachs. . .	7 000 „ 10 000	„ 3000
„ vierachs. . .	12 000 „ 14 000	„ 4000
Anhängewagen { zweiachs. .	3 000 „ 8 000	„ 3000
„ vierachs. . .	6 000 „ 10 000	„ 4000
Pferdewalzen	4 000 bis 10 000	
Dampfwalzen	12 000 „ 26 000	

B. Bewegungswiderstand und Zugkraft.

Bewegungswiderstände sind 1. die inneren Reibungswiderstände der Fahrzeuge, 2. die rollende Reibung am Radumfang (verschieden je nach der Beschaffenheit der Fahrbahn), 3. der Winddruck (meist vernachlässigt), 4. der Steigungswiderstand (positiv oder negativ je nach Steigung oder Gefälle), 5. bei Straßenbahnwagen noch der Krümmungswiderstand (bedingt durch die Führung der Räder in den Spurrillen).

1. Die Summe der zwei ersten **Bewegungswiderstände auf wagerechter Bahn** ist hinreichend genau

$$W = k Q (1)$$

worin k durch Versuche festgestellt ist.

Tafel der Widerstandswerte k .

Art der Fahrbahn	Durchschnittswert von k in vT , d. i. $kg/t =$ Bruch- teile der Zuglast
Erdwege:	
Loser Sand	150 = rund $\frac{1}{7}$
Schlechter Erdweg	100 = „ $\frac{1}{10}$
Trockner, fester Erdweg	50 = „ $\frac{1}{20}$
Schotterstraßen:	
Frisch aufgeworfene Chaussee (nicht gewalzt)	100 = „ $\frac{1}{10}$
Kotige Chaussee	50 = „ $\frac{1}{20}$
Trockne, gute Chaussee	33 = „ $\frac{1}{30}$
Pflasterstraßen:	
Schlechtes Steinpflaster	40 = „ $\frac{1}{25}$
Gutes Steinpflaster	20 = „ $\frac{1}{50}$
Holzpflaster	13 = „ $\frac{1}{75}$
Asphaltpflaster	10 = „ $\frac{1}{100}$
Gleisbahnen:	
Fuhrwerksgleise in Chausseen	10 = „ $\frac{1}{100}$
Straßenbahngleise mit Rillenschienen	10 = „ $\frac{1}{100}$
„ mit Vignoles-Schienen	7 = „ $\frac{1}{150}$

Die zur Ueberwindung der Bewegungswiderstände auf wagerechter Bahn aufzuwendende **Zugkraft** ist

$$Z = kQ \quad (2)$$

2. Der **Bewegungswiderstand auf ansteigender Straße** bzw. die zur Ueberwindung desselben aufzuwendende **Zugkraft** ist, wenn

α den Neigungswinkel der Straße,

Q das Gewicht von Wagen und Ladung in kg ,

G das Gewicht des Zugtieres in kg und

k die Widerstandszahl bedeutet,

$$Z = W = kQ \cos \alpha + Q \sin \alpha + G \sin \alpha \quad (\text{vgl. Abb. 2})$$

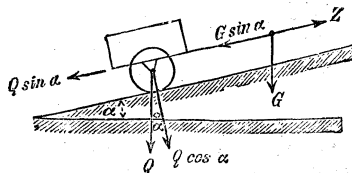
oder für die Praxis genau genug

$$Z = kQ + (Q + G) \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

Bei stärkeren Steigungen nimmt die Zugkraft der Pferde sehr rasch ab und wird bei $\alpha \geq 30^\circ$ zu 0, demgemäß ist bei starker Steigung die Nutzlast sehr gering.

Aus (3) folgt zur Bestimmung der größten Last bzw. stärksten zulässigen Steigung

Abb. 2.



$$Q = \frac{Z - G \operatorname{tg} \alpha}{k + \operatorname{tg} \alpha} \quad (4)$$

Die unter dem * stehenden Ziffern haben keine praktische Bedeutung, da bei Asphaltpflaster Steigungen über 1:50 (2 vH) und bei Holzpflaster über 1:30 (rd. 3 vH) wegen der Gleitgefahr für die Pferde nicht Anwendung finden.

C. Arbeitsleistung der Zugtiere.

Die Leistungsfähigkeit der Zugtiere hängt ab von Art, Alter und Pflege und wird außerdem beeinflusst durch die ihnen zugemutete Zuggeschwindigkeit und tägliche Arbeitszeit.

1. Normale Arbeitsleistung.

Für jede Art der Arbeit gibt es eine bestimmte Geschwindigkeit v und Arbeitszeit t , welche dem Tier am meisten zusagen, und bei denen seine normale Zugkraft Z am größten wird. Bezeichnet man diese Werte entsprechend mit v_0 , t_0 und Z_0 , so ist die größte Arbeitsleistung

$$A_0 = Z_0 v_0 t_0 \quad (8)$$

Bei mittleren Werten von v und t gilt die Mascheksche Kraftformel

$$Z = Z_0 \left(3 - \frac{v}{v_0} - \frac{t}{t_0} \right) \quad (9)$$

Für die Grenzwerte $v=0$ und $t=0$ bzw. $v=2v_0$ und $t=t_0$ oder $v=3v_0$ und $t=0$ werden die Ergebnisse ungenau. Die mittlere tägliche Arbeitsleistung für verschiedene Zugtiere und den Menschen ergibt sich nach (8) wie folgt:

Tafel der Arbeitsleistungen.

Für	Z_0	v	Leistung	Arbeit A_0 f. d. Tag (8 st)
	kg	m/sk	mkg/sk	mkg
mittelstarkes Pferd	75	1,10	82,5	2 376 000
Maulesel	50	1,00	50,0	1 440 000
Ochse	60	0,79	47,4	1 350 000
Esel	40	0,79	31,6	900 000
Mensch	15	0,79	11,8	339 000

Bei einer täglichen Arbeitszeit von $t=8$ st und einer mittleren Geschwindigkeit $v=1,1$ m/sk können als normale Zugkraft eines gut gehaltenen Pferdes folgende Mittelwerte angenommen werden:

Für	Eigengewicht G	Zugkraft Z
	kg	kg
leichte Pferde . .	250	60
mittelstarke Pferde .	350	75
starke Pferde . . .	450	90

Mithin $Z_0 = \text{rd. } \frac{1}{4} \text{ bis } \frac{1}{5} G$.

Bei mehreren Zugtieren an einem Gespann verringern sich diese Werte, u. zw.

Bei 2 Pferden auf 98 vH	Bei 5 Pferden auf 73 vH
„ 3 „ „ 87 „	„ 6 „ „ 64 „
„ 4 „ „ 80 „	„ 8 „ „ 49 „

Als Gangarten kommen bei Pferden in Betracht:

Gangart	v m/sk	Gangart	v m/sk
Langsamer Schritt . .	0,6	Gestreckter Trab . .	4 bis 6
Mittlerer „ . .	1,1	Leichter Galopp . .	6 „ 9
Schnellschritt . . .	2,0	Scharfer „ . .	9 „ 12
Kurzer Trab	3 bis 4	Renngeschwindigkeit .	12 „ 16

Im Gegensatz zu der normalen Leistung der Zugtiere steht ihre

2. Aufsergewöhnliche Leistungsfähigkeit während kürzerer Zeitdauer, welche wesentlich gröfser als die erstere ist und bei kurzen Wegstrecken (bis rd. 600 m) ohne Nachteile für die Zugtiere auf das Doppelte der normalen Leistung angenommen werden kann.

Es kann daher die für die wagerechte Strecke maßgebende Zuglast auch über kurze Steigungen (Brückenrampen usw.) befördert werden, deren $\operatorname{tg} \alpha = k$ ist, d. i.

bei Erdwegen	bis etwa 1 : 20 Steigung
„ Chausseen	„ „ 1 : 30 „
„ Pflasterstraßen	„ „ 1 : 40 „

Danach ergibt sich auf gut unterhaltenen chaussierten Straßen die Nutzladung eines von 2 mittelstarken Pferden gezogenen Fuhrwerks bei achtstündiger Arbeitszeit im Hügelland (d. h. bei einzelnen vorkommenden Steigungen bis 5 vH) zu 2000 kg, im Flachland (d. h. bei einzelnen vorkommenden Steigungen bis 2,5 vH) zu 3500 kg.

II. BAU UND UNTERHALTUNG DER STRASSEN.

A. Wege untergeordneter Bedeutung.

1. Feld-, Wald- und Wirtschaftswege. Einschnitte und Dämme sind tunlichst zu vermeiden, die Steigungs- und Krümmungsverhältnisse dem Gelände möglichst anzupassen. Dies gilt besonders auch von Parallelwegen und Wegverlegungen bei Bahnbauten. Bei Feld- und Wirtschaftswegen können die Krümmungshalbmesser kleiner sein als bei Waldwegen (Langholztransporte). Die Breite richtet sich nach dem Verkehr und beträgt im allgemeinen 3 bis 4 m bei Wirtschaftswegen und 4 bis 6 m bei Feld- und Waldwegen, auf denen ein Begegnen zweier Fuhrwerke möglich sein soll.

Feldwege sind derart anzulegen, dafs alle anliegenden Grundstücke direkte Zufahrten erhalten.

Die bauliche Herstellung beschränkt sich in der Regel auf Ausföhrung der Erdarbeiten, Aushebung eines (bergseitigen) oder zweier

Seitengräben mit genügenden, 4 m breiten Ueberfahrten nach den Grundstücken, während von einer besonderen Befestigung meist Abstand genommen wird. Die Unterhaltung besteht vorwiegend aus dem Zufüllen der entstandenen Fahrrinnen mit Boden oder von den Feldern abgelesenen Steinen durch die Besitzer oder Anlieger der Wege.

2. **Verbindungswege** ohne besondere Befestigung dienen da, wo Landstraßen fehlen oder zu große Umwege machen, zur kürzesten Verbindung benachbarter Ortschaften. Breite meist 5 bis 8 m. Ihre Herstellungsweise, Befestigung und Unterhaltung entspricht der der Feldwege, nur erhalten sie, um ihre Richtung bei Schneeverwehungen zu kennzeichnen, meist Baumpflanzung. Bei steigendem Verkehr werden diese Wege zu Landstraßen ausgebaut.

B. Landstraßen.

1. Linienführung.

a) Der Nachweis dafür, daß die Anlage einer neuen Landstraße aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten notwendig ist, wird bei Aufstellung des Entwurfs durch die **Ertragberechnung** erbracht.

Bezeichnet

l die Länge der Straße in km,

C die jährliche Frachtmenge in t,

β die Frachtermäßigung für 1 tkm nach erfolgtem Ausbau der Straße in \mathcal{M} ,

B die vom Verkehr unabhängigen Unterhaltungskosten in \mathcal{M} ,

γ die durch 1 t Last bewirkte jährliche Abnutzung auf 1 km Straße in \mathcal{M} ,

A die Herstellungskosten für 1 km Straße in \mathcal{M} ,

so ist der jährliche Nutzen der Straße $= \beta C l \mathcal{M}$.

Ist dieser Betrag ausreichend hoch, um die Unterhaltungskosten $l(B + \gamma C) \mathcal{M}$ zu decken und das Anlagekapital Al zu verzinsen, so ist der Bau der Straße nützlich, und es beträgt die der Bevölkerung zugute kommende Rente R für 1 \mathcal{M} Anlagekapital

$$R = \frac{\beta C l - (B + \gamma C) l}{Al} = \frac{(\beta - \gamma) C - B}{A}$$

b) Aufgabe der **wirtschaftlichen Linienführung** ist es, für eine herzustellende Straßenanlage ohne Rücksicht auf etwaige Unebenheiten des Geländes die Linie aufzusuchen, bei der später die Summe der kilometrischen Verkehrskosten, d. i. der Produkte aus den in Frage kommenden Frachtmengen multipliziert mit den auf der erbauten Straße zurückgelegten Wegstrecken, am kleinsten wird.

Die verschiedenartige Verkehrsbedeutung der einzelnen anzuschließenden Ortschaften, Gutsbezirke, Gehöfte usw. bedingt dabei, abgesehen von der Rücksicht auf Besitzgrenzen die Anlage von mehr oder weniger gebrochenen Straßenzügen. Für die Bestimmung der hierbei maßgebenden Brechpunkte, Knotenpunkte und Anschlußpunkte gibt Launhardt*) einige graphische Methoden an.

*) Launhardt, Theorie des Trassierens, Heft 1, 2. Aufl. 1887.

c) Die **technische Linienführung** bezweckt die Aufsuchung der Linie, die bei den vorhandenen Geländebeziehungen aus technischen Gründen am zweckmäßigsten ist und sich möglichst an die durch die wirtschaftliche Linienführung gefundene anlehnt.

Die hierbei zu beobachtenden Gesichtspunkte sind:

1. Möglichstes Anschmiegen an das Gelände. Ausgleich der Aus- und Abtragmassen bei geringster Erdbewegung. Möglichst wenig Kunstbauten.
2. Rücksicht auf trockene Lage der Straße. Gute Wasserableitung.
3. Rücksicht auf sichere Lage der Straße (Schutz gegen Lawinen, Schneeeverwehungen, Steinfälle usw.). Guter Untergrund.
4. Möglichst günstige, den örtlichen Verhältnissen und der Verkehrsgröße entsprechende Steigungsverhältnisse. Vermeidung verlorener Steigungen.
5. Billige Beschaffung der Baustoffe. Rücksicht auf die Wasserversorgung für die Zugtiere.

Der **Kostenanschlag** ist nach folgenden Titeln aufzustellen:

Titel I. Erdarbeiten.

- „ II. Befestigung der Böschungen.
- „ III. Brücken und Durchlässe.
- „ IV. Anfertigung der Steinbahn
 - a) Materialien, b) Arbeitslohn.
- „ V. Baum- und Schutzpflanzungen.
- „ VI. Geländer und Stationszeichen.
- „ VII. Chausseegeld-Erhebstellen, Wohnhäuser.
- „ VIII. Gerätschaften.
- „ IX. Grund-, Nutzungs- und Gebäudeentschädigungen.
- „ X. Anlegung von Interimswegen.
- „ XI. Insgesamt, Unvorhergesehenes, Aufsichtskosten usw.

Ueber die Aufstellung der Entwürfe vgl. im übrigen die Zirkularverfügung des Preuss. Handelsministeriums vom 7. Mai 1871. (Auszug daraus unter D. Wegerecht.)

2. Allgemeine Anordnung.

a) **Lage der Straße**, möglichst in Geländehöhe, soweit die Neigungs- und Wasserverhältnisse dies zulassen.

Alle tieferen Einschnitte, die zu Rutschungen Veranlassung geben könnten, besonders solche in lehmigen, mit Quellen durchsetzten Erdschichten, ferner Ein- oder Anschnitte von ungünstig fallenden Felschichten oder Schuttkegeln im Hochgebirge sind zu vermeiden. Die Murgänge solcher Schuttkegel sind zweckmäßig durch breite gepflasterte Rinnen in Straßenhöhe überzuführen (nicht zu überbrücken!). Brücken und Durchlässe müssen genügende Weite erhalten.

Schutz gegen Schneeeverwehungen ist im Flachland durch Anpflanzung dichter Hecken, gegen Lawinen im Hochgebirge durch Anlage von Galerien, Schutzdächern usw., trockene Lage durch gute Oberflächen- und Seitenentwässerung zu erzielen. Straßsenkrone zweckmäßig 0,40 bis 0,60 m über H. H. W. (in Preußen 0,60 m Vorschrift).

Bei Waldungen ist Zutritt von Wind und Sonne durch Lichtung eines Streifens zu beiden Seiten zu ermöglichen. Auf diesen Streifen ist, um Zerstörung der Telegraphendrähte und zeitweise Straßsenperrung durch Windbruch zu vermeiden, Hochwald am besten ganz zu beseitigen.

Bei Ueberschreitung von Mooren ist auf Sicherung des Unterbaues besonders Bedacht zu nehmen durch Trockenlegung des Moores oder

Verbreiterung des Unterbaues oder Anlage eines Schwellrostes auf Reisigpackungen usw.

b) Steigungsverhältnisse.

Die maßgebende Steigung einer Straße ergibt sich aus Gleichung (5) auf S. 650. Es empfiehlt sich, diese Steigung nicht stärker zu wählen als die, welche die anschließenden Straßen in derselben Gegend aufweisen. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß bei Neigungen bis 2,5 vH die Talfahrt auf längere Strecken noch ohne Bremsung, die Bergfahrt mit leichtem Personenfuhrwerk noch im Trab möglich ist.

Demgemäß sind die Größtwerte für Steigungen in der Ebene, im Hügelland und Bergland in Preußen zu 2,5, 4 und 5 vH angenommen. Laissle gibt folgende Steigungs-Größtwerte an:

Hauptstraßen in der Ebene	bis 3 vH
„ im Hügelland	4 „ 5 „
„ im Gebirge	6 „ 6 „
Alpenstraßen	7 „ 8 „
Vizinalstraßen	6 „ 7 „
Feld- und Waldwege mit Talförderung	10 „ 12 „

Für die Wahl der maßgebenden und stärksten Steigung ist auch die Richtung des schweren Wagenverkehrs von Bedeutung. Für kürzere Strecken sind stärkere Steigungen (bis zum doppelten Wert der maßgebenden Steigung, s. S. 652) einzulegen, falls dahinter genügend lange wagerechte oder weniger steile Abschnitte kommen, auf denen die Zugtiere sich ausruhen können.

Verlorene Steigungen sind bei Straßen im Berg- und Hügelland möglichst zu vermeiden, bei Straßen in der Ebene häufig zweckmäßig zur Ermöglichung einer guten Entwässerung. Aus diesem Grund sind wagerechte Straßen oder solche mit weniger als $\frac{1}{2}$ vH Neigung nicht zu empfehlen.

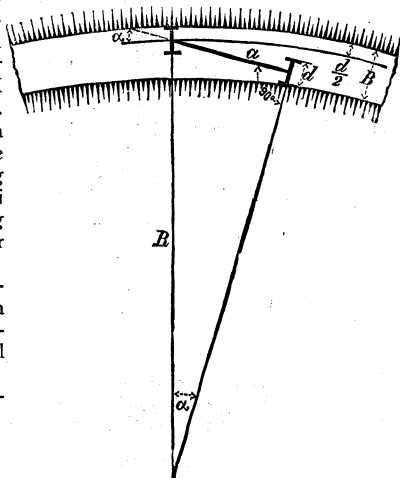
In scharfen Krümmungen sowie bei Wendeplatten sind die Steigungen zur Verminderung der erforderlichen Zugkraft bei Bergfahrt sowie zur Vermeidung von Unglücksfällen bei schneller Talfahrt zu ermäßigen.

c) Der **kleinste Krümmungshalbmesser** ist abhängig von dem Radstand der Straßenfuhrwerke und dem Drehwinkel des Vordergestells.

Mit den in Abb. 3 enthaltenen Bezeichnungen ist

$$R = \frac{a}{\sin \alpha}$$

Abb. 3.



sowie die Straßenbreite

$$B = R(1 - \cos \alpha) + d.$$

Für $\alpha = 22^\circ$ wird

$$R = \frac{8}{3} a$$

und $B = 0,073 R + d$.

Bei Langholzwagen beträgt die vorkommende größte Stammlänge im allgemeinen $l = 20$ m, in Ausnahmefällen bis zu 30 m. $a = \frac{2}{3} l$. Bei sehr langen Hölzern und starken Krümmungen empfiehlt es sich, den Winkel α durch entsprechende Drehung des Hinterwagens zu vergrößern (bis zu 65° möglich). Bei $\alpha = 65^\circ$ und $l = 21$ bzw. 30 m ergeben sich als Mindestmaße, wenn die Strafe Raum für den ganzen Langholzstamm bieten soll, wie z. B. bei bebauten Dorfstraßen:

	$l = 21$ m	$l = 30$ m
Innerer Halbmesser	11,0 m	16,6 m
Breite der Steinbahn	2,3 „	2,6 „
Inneres Bankett	0,6 „	0,6 „
Aeußeres Bankett	3,6 „	3,6 „
Ganze Straßenbreite	6,5 „	8,4 „

Bei städtischem Fuhrwerk beträgt der $\angle \alpha$ bis 90° , bei ländlichem ist a im allgemeinen $= 3$ m und α bis 30° .

Als zweckmäßige Krümmungshalbmesser sind gebräuchlich:

für Hauptstraßen	$R = 50$ m
„ Vizinalstraßen	$R = 30$ „
„ Güterwege	$R = 10$ „

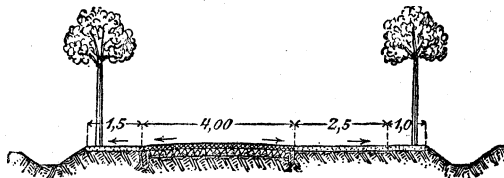
auf die Straßenmitte bezogen.

In Preußen ist $R = 30$ m üblich. Bei Straßen von $R \leq 7,5$ m ist eine angemessene Verbreiterung der Strafe bzw. der Steinbahn erforderlich.

d) **Straßenbreite.** Die Breite der Fahrbahn ist bedingt durch die Größe und Spurweite der Fuhrwerke sowie die Größe und Sicherheit des Verkehrs. An jeder Stelle der Strafe müssen 2 beladene Fuhrwerke sich begegnen und überholen können.

Einspurige Straßen mit Ausweichplätzen sind nur unter besonders schwierigen Verhältnissen im Hochgebirge am Platze. Die Straßen in der Ebene sind im allgemeinen breiter als im Gebirge, ebenso in der Nähe von Städten breiter als entfernt von ihnen.

Abb. 4.



Die Kronenbreite der Strafe wird in der Ebene (Norddeutschland) meist in 4 Teile zerlegt: Fahrbahn, Sommerweg und 2 Bermen, vgl. Abb. 4; im Hügelland (Mittel- und Süddeutsch-

land) unter Fortfall des Sommerweges meist in 3 Teile, vgl. Abb. 5;

und im Gebirge zwecks Kostenersparnis meist in 2 Teile (Fahrbahn und eine talseitig angelegte Berme), vgl. Abb. 6.

Die Breite der Fahrbahn 4 bis 7 m, des Sommerweges 2,5 bis 3,5 m, der Bermen 0,5 bis 2 m; in der Nähe von Städten 1,2 bis 3 m. Die Breite eines einzelnen Fußweges soll nicht unter 1 m sein. Breite etwaiger Reit- und Radfahrwege möglichst 2,5 bis 3 m.

Materialien werden, wenn zugänglich, auf den Bermen gelagert, andernfalls werden besondere Materiallagerplätze angelegt.

Abb. 5.

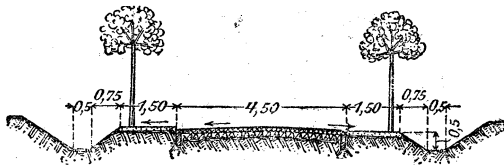
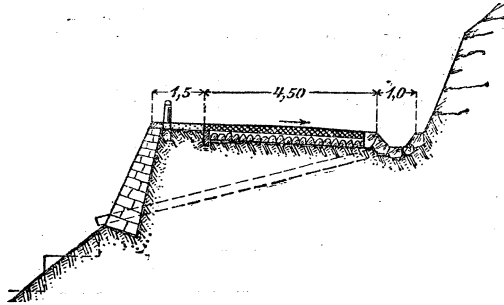


Abb. 6.



In Preußen sind durch die Zirkular-Verfügung vom 17. Mai 1871 u. a. folgende Maße festgesetzt:

	mit Sommerweg					ohne Sommerweg				
Steinbahn . . m	5,0	4,5	4,5	4,5	5,6	5,0	5,0	4,5	4,5	4,5
Sommerweg . . „	3,0	3,0	2,5	2,5	—	—	—	—	—	—
Mat.-Bankett . . „	2,0	1,5	1,5	1,5	2,0	1,8	1,5	1,8	1,5	1,5
Fußg.-Bankett . . „	1,5	1,0	1,0	0,5	1,4	1,2	1,0	1,2	1,5	1,0
Gesamte Breite . .	11,5	10,0	9,5	9,0	9,0	8,0	7,5	7,5	7,5	7,0

In Baden ist die Straßenbreite lediglich von dem Verkehr abhängig gemacht; dort sind folgende Maße vorgeschrieben:

Bei einem täglichen Verkehr von Zugtieren	ganze Straßenbreite m	Fahrbahn m	Bermen m
100 und mehr	7,2	4,8	je 1,2
60 bis 100	5,4—6	4,5	„ 0,45—0,75
30 „ 60	4,8—5,4	4,2	„ 0,3 —0,6
30 und weniger	4,2—4,8	3,6	„ 0,3 —0,6

e) Die **Oberflächenentwässerung** geht entweder von der Fahrbahnmitte aus nach beiden Seiten (Abb. 5) oder, wie bisweilen bei Bergstraßen, nur nach einer Seite und zwar nach der Bergseite hin (Abb. 6).

Die möglichst schnelle und vollständige Abführung des Wassers in die Seitengräben erfolgt bei ebenen Straßen lediglich infolge des Quergefalles, also rechtwinklig zur Straßenachse, während bei Steigungen das Wasser unter einem spitzen Winkel gegen die Straßenachse abfließt. Diese Art des Abflusses ist für die Straßenreinigung günstig, da das Wasser den Schlamm mit fortnimmt; nur muß für glatte Abführung des Wassers nach den Gräben Sorge getragen werden, damit Auswaschungen der Fahrbahn oder Fußwege vermieden werden. Bei hochgelegenen Straßen empfiehlt es sich, das Regenwasser nach den Baumpflanzungen zu ihrer Bewässerung und Düngung abzuleiten.

Die Wölbung der Straße erstreckt sich meist nur auf die Fahrbahn, während Sommerweg und Bermen ein geradliniges Quergefälle von 2 bis 5 vH erhalten, das sich tangential an den Wölbungsbogen anschließt. Bisweilen werden die Bermen zur besseren Stützung der Kantensteine erhöht angelegt. Die Fahrbahnwölbung wird entweder nach einem Kreisbogen oder besser mit geraden Seiten und abgerundeter Krone hergestellt. Ihre Stichhöhe richtet sich nach der Stärke des Verkehrs, der Härte des verwendeten Kleinschlages und nach dem Längsgefälle. Uebliche Mittelwerte gibt nachstehende Tafel:

Längsgefälle vH	Quergefälle vH		
	Steinschlagbahn	Pflasterbahn	Sommerwege
o	7	5	5
o bis 3,5	5,5	4	3,5
3,5 und mehr	4	3	1,5

f) **Seitenentwässerung** erfolgt durch genügend tiefe Gräben von 0,40 bis 0,50 m Tiefe bei 0,30 bis 0,50 m Sohlenbreite.

Die in Preußen üblichen Werte gibt nachstehende Tafel:

	Abmessungen in m					
Tiefe	1,0	1,0	0,6	0,5	0,5	0,4
Sohlenbreite . . .	1,0	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3
Böschungsbreite .	1,5	1,5	0,9	0,75	0,75	0,6
Obere Breite . . .	4,0	3,6	2,4	2,10	2,0	1,5

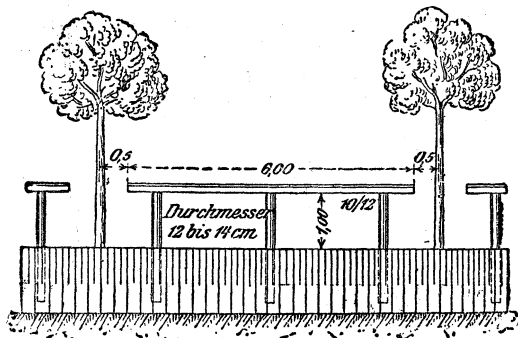
Das Längsgefälle der Gräben richtet sich meist nach der Straßenneigung und ist zweckmäßig nicht schwächer als 1:100 zu wählen.

g) **Baumpflanzungen** an den Landstraßen sehr zweckmäßig, u. zw. bei Flachlandstraßen sowie auf Dämmen an beiden Straßenseiten, bei Bergstraßen nur an der Talseite. In größeren Einschnitten sind sie jedoch zu vermeiden. Als Baumarten werden verwendet Obstbäume oder Zierbäume und unter letzteren besonders die Linde, Platane, Kastanie, Ulme, Hainbuche und Birke. Pappeln sind ungeeignet.

Abstand der Bäume von Planumkante = 0,3 m; Durchmesser und Tiefe der Baumlöcher 0,6 bis 1,0 m. Beim Setzen sind Stämme von 2,5 m Höhe und 0,05 m Stärke vorteilhaft.

h) Als **Einfriedigungen** genügen im allgemeinen die Baumpflanzungen oder die Seitengräben. Nur auf Dämmen von mehr als 1 m Höhe sowie neben steilen Abhängen ist eine besondere Sicherung notwendig; zweckmäßig durch einfache Geländer (zwei bis drei Holzpfähle mit aufgelegtem Holm Abb. 7, Steinpfeiler mit Λ -Eisengeländer) oder auch durch zwei- bis dreizeilige Drahtzäune, Weißdornhecken usw.

Abb. 7.



3. Unterbau.

a) Die Herstellung von **Einschnitten** und **Dämmen**.

1. Die **Einschnitte** werden gewöhnlich mit langen Abtragwänden, welche zahlreiche Angriffspunkte bieten, im Längsbetrieb hergestellt. Abweichend davon kommt bei quer gelagerten Felsschichten der Kopfbetrieb in Anwendung. Bei horizontaler Felslagerung erfolgt die Herstellung der Einschnitte im Lagenbau von einem oder zwei Schlitten aus oder auch nach dem englischen Einschnittsbetrieb (Sohlenstollen mit Einfallschächten in 10 bis 15 m Entfernung bei Einschnitten von 8 bis 20 m Tiefe).

Dabei ist auf eine gute ober- und unterirdische Wasserabführung zu achten und die Böschungen gegen Abrutschen zu sichern.

2. Die Ausführung der **Dämme** geschieht durch Lagenschüttung von $\frac{1}{2}$ bis 1 m Höhe, u. zw. je nach den örtlichen Verhältnissen mit Seiten- oder Kopfschüttung bzw. auch von Sturzgerüsten aus.

Vor dem Schütten ist der Humusboden und etwaige Baumwurzeln zu entfernen; bei Moorboden sind Faschinenunterlagen oder Kieschüttung als Grundlage erforderlich.

Die zur Herstellung der Dämme verwendeten Bodenmassen dürfen keine zu Rutschungen Anlaß gebenden Bestandteile enthalten.

Zu berücksichtigen ist das Setzen der Dämme; das Sackmaß beträgt:

bei Leimboden	$\frac{1}{12}$	der Höhe
„ Dammerde	$\frac{1}{14}$	„ „
„ Sandboden	$\frac{1}{23}$	„ „
„ Steinschüttung	$\frac{1}{40}$	„ „

Zum Schutz der Dämme gegen Rutschungen sind Hintergräben mit Durchlässen sowie Sickerkanäle zweckmäßig.

Ueber die Ausführung der Erdmassenbewegung und -verteilung, die Herstellung der Böschungen usw. vgl. den Abschnitt „Eisenbahnbau“.

b) Der Bau von **Brücken, Durchlässen, Stütz- und Futtermauern.** Die Ermittlung der durch kleine Brücken und Durchlässe abzuführenden Wassermengen kann nach folgender Tafel erfolgen:

Tafel der Wasserabflussmenge
in cbm/sk für 1 qkm Niederschlagsgebiet.

Tallänge in km	Niederschlagsgebiet					
	gebirgig		Hügelig		flach	
	fast unbewaldet	stark bewaldet	fast unbewaldet	stark bewaldet	fast unbewaldet	stark bewaldet
< 1	8,0 ^{*)}	4,0	6,6	3,3	4,0	2,0
bis 2	7,0 ^{*)}	3,5	5,8	2,9	3,5	1,8
„ 4	6,0	3,0	4,5	2,3	3,0	1,5
„ 8	4,0	2,0	3,0	1,5	2,0	1,0
„ 12	3,0	1,5	2,3	1,2	1,5	0,8
„ 16	2,0	1,0	1,5	0,8	1,0	0,5
> 16	1,0	0,5	0,8	0,4	0,5	0,3
praktische Mittelwerte	3,0	2,0	1,0		0,5	

4. Oberbau.

a) **Schotterstraßen.** Diese werden entweder mit Grundbau oder nach dem Verfahren von Mac-Adam hergestellt.

1. Bei **Schotterstraßen mit Grundbau** besteht die **Packlage** aus pyramidenförmigen Bruchsteinen von 12 bis 20 cm Seitenlänge, die auf dem Unterbau dicht nebeneinander, mit den Spitzen nach oben im Verband verlegt werden. Die keilförmigen Zwischenräume werden alsdann mit Steinstückchen ausgezwickt und etwa vorstehende Spitzen abgeschlagen.

Die Packlageschicht erhält im allgemeinen eine Höhe von 15 bis 20 cm (nicht unter 10 cm).

Diese Ausführungsweise bietet eine sichere Unterlage, gewährleistet eine gute Druckverteilung und verhindert ein Aufquellen bei lehmigem Untergrund.

^{*)} Bei sehr steilen Hängen und nackten Felsen sind die Werte um 25 vH zu erhöhen.

Besonderes Festwalzen des Grundbaues vor Aufbringung der Decklage ist nur bei lockerem Untergrund (z. B. auf frisch geschütteten Dammstrecken) zweckmäßig, sonst überflüssig.

Das Aufbringen der Packlage erfolgt entweder in durchweg gleichmäßiger Stärke, nachdem vorher das Planum mit vollem Quergefälle hergestellt ist, oder mit 1 bis 2 cm Verstärkung in der Mitte und ebensoviel Schwächung an den Seiten (Rücksicht auf die stärkere Abnutzung der Straßen in der Mitte gegenüber den Seiten).

Zur Erzielung eines sicheren Widerlagers für den Grundbau sowie zur festen Abgrenzung desselben gegen Bermen und Sommerweg werden häufig flache Kantensteine (auch Strecksteine genannt) von 20 bis 30 cm Höhe verwendet, die, hochkantig und mit stumpfem Stofs gestellt, von Oberkante Packlage bis etwa 10 cm in das Planum hineinreichen.

Um die Bildung von Wassersäcken und ein Auffrieren im Winter zu verhindern, sind die Kantensteine gut mit Sand zu hinterstopfen und die Decklage bis über die Kantensteine fortzuführen. Bei erhöhten Fußwegen werden statt der Kantensteine besondere Bordsteine verlegt, die 10 bis 12 cm über Oberkante der festgewalzten StraÙe vorstehen, jedoch aus Sparsamkeitsgründen meist nur bis Unterkante Packlage herunterreichen; je tiefer desto besser, um das Kanten der Bordsteine zu verhüten.

Bei gutem Grundbau hängt die Beschaffenheit und Haltbarkeit der StraÙe lediglich von der **Decklage** ab. Hierfür ist Steinschlag von Würfelform und möglichst gleichmäßiger KorngröÙe (4 cm bei hartem Gestein und 4 bis 6 cm bei weichen Steinen) zweckmäßig. Die KorngröÙe ist in den verschiedenen Gegenden entsprechend den vorhandenen Baustoffen meist festgesetzt.

Die Stärke der Decklage richtet sich nach dem Verkehr und nach der Beschaffenheit der Steine; sie beträgt 8 bis 20 cm (nicht unter 6 cm). Stärkere Decklagen als 12 cm werden bisweilen in 2 Schichten aufgebracht, von denen die untere aus größerem Korn besteht. Hierbei ist vor Aufbringung der oberen Schicht die untere Zwischenlage gut abzuwalzen, um eine gute Dichtung zu erzielen und zu verhüten, daß sich beim Abwalzen oder Befahren der StraÙe der Grobschlag der Unterschicht durch die obere Decklage hindurcharbeitet.

Zur Erzielung einer dichten Fahrbahndecke ist die Ausfüllung sämtlicher Zwischenräume durch ein „Bindemittel“ unerläßlich. Ueberstreuen von Steingrus aus demselben Stoff wie der Schotter oder von grobem, nicht erdigem Kies in Erbsen- bis BohnengröÙe während der Walzarbeit sowie Aufbringen einer rd. 2 cm starken Kiesschicht von feinerem Korn vor dem Fertigwalzen, d. h. nach genügender Dichtung der Fahrbahn. Diese Kiesdecke ist zweckmäßig auch noch einige Monate nach Inbetriebnahme der StraÙe zu erhalten, um durch die Fahrwerke und den Regen auch sämtliche feineren Zwischenräume noch schließen zu lassen.

Die Gesamtstärke der Straßendecke beträgt gewöhnlich 21 bis 30 cm, wovon etwa 12 bis 18 cm auf die Packlage und 9 bis 12 cm auf die Decklage entfallen.

2. Schotterstraßen nach der Ausführungsweise von **Mac-Adam** (sogen. Makadam-Straßen), die ursprünglich nur aus einer Schicht

gleichmäßigen Kleinschlages von 15 bis 25 cm Stärke bestanden, haben sich nur bei ganz leichtem Verkehr und durchaus sicherem Untergrund bewährt. Daher wird auch hierbei eine Art Grundbau, bestehend aus einer 12 bis 15 cm starken Schicht Grobschlag von 6 bis 8 cm Seitlänge, angewendet, was jedoch gleichfalls nur bei festem, nicht aus Lehm oder Ton bestehendem Untergrund zweckmäßig ist. Dieser Grobschlag ist vor dem Aufbringen der Decke besonders abzuwalzen.

Die **Baustoffe der Schotterstraßen** sind mit besonderer Sorgfalt auszuwählen. Es ist nur gesundes wetterbeständiges Gestein zu verwenden. Außerdem müssen die zur Decklage bestimmten Steine ein körniges Gefüge, genügende Druckfestigkeit und geringe Politurfähigkeit aufweisen, dabei aber genügende Zähigkeit besitzen und sich nur wenig abnutzen. Ferner dürfen sie keinen klebrigen Schlamm erzeugen, welcher ein Aufwickeln der Decklage durch die Räder der Fuhrwerke zur Folge haben könnte.

Bei den für den Grundbau zu verwendenden Stoffen genügt Wetterbeständigkeit und mäßige Druckfestigkeit.

Diese Eigenschaften werden in den Technischen Versuchs- bzw. Stoffprüfungs-Anstalten (z. B. in Grob-Lichterfelde) annähernd ermittelt. Daneben empfiehlt sich jedoch bei Verwendung von Baustoffen, über welche genügende Erfahrungen noch nicht vorliegen, der Einbau von Probestrecken.

Die besten Straßenbaustoffe liefert das Urgestein, im besonderen Granit, Quarzporphyr, Gneis, falls nicht zu stark glimmerhaltig, Syenit und Gabbro. Ausserdem Basalt aus gesunden Lagen und Dolerit.

Geeignet sind ferner noch, wenn auch nur für Schotterstraßen mit leichtem Verkehr, die Sandsteine mit quarzigem Bindemittel (z. B. Kiesel-sandstein) und Muschelkalk. Weniger geeignet Sandsteine mit tonigem Bindemittel sowie Jurakalkstein. Trotzdem wird besonders der letztere aus Billigkeitsrücksichten in der Schweiz viel verwendet. Empfohlen wird, bei Schotter aus Kalkstein als „Bindemittel“ Basaltsand zu verwenden.

Stehen für einen Bau Steine von verschiedener Güte zur Verfügung, so sind die weniger geeigneten zum Grundbau zu verwenden, die besseren zur Decke.

Statt des Steinschlages aus natürlichen Steinen wird auch solcher aus Hochofenschlacke verwendet. Hierfür eignen sich leichtflüssige, nicht glasige Schlacken, welche zur Verhütung zu grosser Sprödigkeit „getempert“ werden, indem man sie in Gruben, mit Kohlengrus bedeckt, langsam erkalten läßt, wodurch das Gefüge der Schlacke dicht und körnig wird. Die Verarbeitung dieses künstlichen Steinmaterials erfolgt wie bei den natürlichen Steinen. Die Härte der Schlackensteine entspricht ungefähr der des Basaltes.

Die **Gewinnung und Zerkleinerung** der Gesteine erfolgt von Hand oder mit Maschinen. Die Gewinnung im Bruch geschieht in der Regel durch Sprengung und Handbohrung. Bohrmaschinen nur in sehr großen Betrieben verwendet. Transport der gelösten Steine in hölzernen oder mit Holz ausgekleideten Schmalspurwagen.

Die Zerkleinerung der Steine von Hand (kurzstielige Handhämmer von 3 bis 4 kg Gewicht oder Schwunghämmer von $\frac{1}{2}$ bis 1 kg Gewicht) liefert gleichmäßigeren Kleinschlag als die Maschinenarbeit, ist aber wesentlich teurer. Ein Arbeiter zerkleinert täglich von hartem Gestein 0,6 bis 1 cbm und von weichem Gestein 1,5 bis 2 cbm, während eine Brechmaschine je nach Gröfse täglich 10 bis 100 cbm

Schotter liefert. (Maschinenzerkleinerung ungleichmäÙig. Beispiel: 7 vH Grob-, 29 vH Normal-, 35 vH Feinschotter sowie 29 vH Grus.)

1 cbm gewachsener Fels liefert 1,4 bis 1,6 cbm Bruchsteine, in aufgeschichteten Haufen gemessen. 1 cbm geschichtete Bruchsteine ergibt 1,2 bis 1,4 cbm Steinschlag (einschl. Grus). Ohne Grus sind zu 1 cbm Kleinschlag etwa 1,2 cbm Bruchsteine erforderlich.

1 cbm gewachsener Fels ergibt im ganzen rd. 2 cbm Schotter (einschl. Grus).

Die Gewichte einiger hauptsächlichen Gesteinsarten im AufmaÙ der Zerkleinerung gibt nachstehende Tafel an:

Gesteinsart	Gewicht des festen Gesteines kg f. 1 cbm	Gewicht in kg f. 1 cbm		Festes Gestein ist enthalten in 1 cbm	
		aufgesetzte Steine	Kleinschlag	aufgesetzte Steine vH	Kleinschlag vH
Basalt. . .	2700	1562	1625 bis 1505	57	60 bis 56
Porphy. . .	2600	1500	1450 „ 1385	57,7	56 „ 53
Muschelkalk	2400	1516	1479	62	60

Stoffbedarf. Bezeichnet a die Breite der Steinbahn in m und b ihre Stärke in cm, so erfordern 100 m Straßenlänge folgende Mengen c in cbm:

Durch- schnittliche Stärke in cm.	Decklage			Mittellage			Packlage		
	a m.	b cm	c cbm	a m	b cm	c cbm	a m	b cm	c cbm
28	5,6	9	50,5	5,45	7	38,0	5,45	12	65,5
26	5,6	9	50,5	5,45	7	27,5	5,45	12	
24	5,6	12	67,0	—	—	—	5,45	12	
22	5,6	10	56,0	—	—	—	5,45	12	
21	5,6	9	50,5	—	—	—	5,45	12	
28	5,0	9	45,0	4,85	7	34,0	4,85	12	58,0
26	5,0	9	43,0	4,85	5	24,5	4,85	12	
24	5,0	12	60,0	—	—	—	4,85	12	
22	5,0	10	50,0	—	—	—	4,85	12	
21	5,0	9	45,0	—	—	—	4,85	12	
28	4,5	9	40,5	4,35	7	30,5	4,35	12	52,0
26	4,5	9	40,5	4,35	5	22,0	4,35	12	
24	4,5	12	54,0	—	—	—	4,35	12	
22	4,5	10	45,0	—	—	—	4,35	12	
21	4,5	9	40,5	—	—	—	4,35	12	
28	4,0	9	35,0	3,85	7	27,0	3,85	12	46,0
26	4,0	9	36,0	3,85	5	19,5	3,85	12	
24	4,0	12	48,0	—	—	—	3,85	12	
22	4,0	10	40,0	—	—	—	3,85	12	
21	4,0	9	36,0	—	—	—	3,85	12	

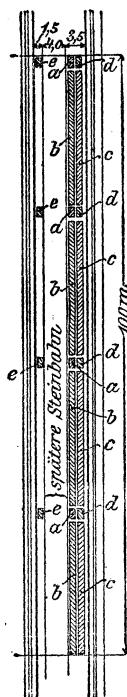
Wird statt der Packlage nur Grobschlag verwendet, so ist die erforderliche Stoffmenge dieselbe.

An Kantensteinen sind bei rd. 10 cm Breite und 20 bis 25 cm Höhe der einzelnen Steine auf 100 m Straßenslänge 5 bis 6 cbm, aufgesetzt gemessen, erforderlich.

Die erforderliche Bindemittelmenge richtet sich nach der Härte des Steinschlags. Sie beträgt bei hartem, kiesehaltigem Gestein 10 bis 15 vH, bei weichem dagegen 6 bis 8 vH der Steinschlagmenge.

Die Anlieferung der Baustoffe muß vor Beginn der Oberbauarbeiten beendet sein, damit die letzteren bei günstiger Jahreszeit ohne Unterbrechung fertiggestellt werden können. Anfuhr bei Neubaustrassen meist auf Schmalspurgleisen, bei Unterhaltungsarbeiten durch Fuhrwerke.

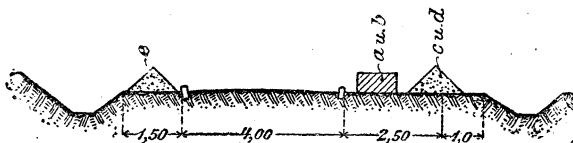
Abb. 8.



Die Aufstapelung der Steine erfolgt auf den Bermen oder dem Sommerweg in der Reihenfolge, in welcher sie beim Einbau gebraucht werden. Ein Beispiel hierfür gibt Abb. 8 u. 9, u. zw. für eine Straße von 4 m Fahrbahnbreite, 2,50 m Sommerweg und 2 Bermen von 1,50 bzw. 1 m. Die Stärke der Packlage beträgt hier 12 cm, der Decklage 9 cm.

Für diese Straße sind zur Herstellung der Steinbahn auf je 100 m Länge erforderlich: 46 cbm Packlage, 36 cbm Schotter, davon 24 cbm Normalschotter und 12 cbm Feinschotter, ferner 6 cbm Kantensteine, 8 cbm Kies und 2 cbm Lehm.

Abb. 9.



Die Aufstapelung dieser Baustoffe ist aus Abb. 8 u. 9 zu ersehen;

darin bedeutet

a	je	1,5	cbm	Kantensteine,
b	je	11,5	„	Packlagesteine,
c	je	6	„	Normalschotter und
		3	„	Feinschotter,
d	je	2	„	Kies,
e	je	0,5	„	Lehm.

Das **Festwalzen** der Fahrbahn erfolgt mit Pferde-, Dampfwalzen oder Automobil - Straßenwalzen (vgl. Z. f. Transp. u. Strb. 1906 Nr. 22).

Pferdewalzen. Das Gestell enthält zweckmäßig zur Vermeidung des zeitraubenden jedesmaligen Umspannens am Ende der Walzstrecke eine in einem wagerechten Ring drehbare Deichsel.

Das Gewicht der unbelasteten Walze beträgt 3 bis 5 t, das der belasteten Walze 6 bis 8 t für 1 m Walzenbreite. Da der Mantel des Zylinders sich in der Mitte schneller abnutzt als an den Seiten, so wird er häufig in der Mitte um 10 bis 15 mm verstärkt.

Breite der Berührungsfläche des Walzenzylinders bei schwerer ruhender Walze auf fester Bahn rd. 10 cm, während der Walzarbeit 20 bis 10 cm. Beginn der Walzarbeit mit unbelasteter Walze, u. zw. derart, daß zunächst die beiden Seiten einschl. der Bermenkanten gehörig gedichtet werden und alsdann die Steinbahn nach der Mitte zu festgewalzt wird, wobei jeder Gang den vorhergehenden um 20 bis 30 cm überdeckt. Darauf wird das Walzengewicht allmählich vermehrt. Als Bespannung rechnet man bei wagerechter oder mäsig geneigter Straße 1 Pferd auf 1 t belasteter Walze. Dieselbe Pferdezahl ist auch bei unbelasteter Walze auf losem Schotter schon erforderlich. Die Walzgeschwindigkeit beträgt 0,5 bis 0,7 m/sk, die Leistung stündlich etwa 20 bis 25 qm fertige Straße oder 1,5 bis 2 cbm bei hartem, 2 bis 4 cbm Steinschlag bei weichem Gestein.

Das Einwalzen wird zweckmäßig bei feuchter Witterung vorgenommen. Bei trockenem Wetter und sicherem Untergrund ist zur Beschleunigung der Walzarbeit und Schonung des Kleinschlages ein Begießen erforderlich. Bei feuchtem oder tonigem Untergrund muß diese Nässung sehr vorsichtig vorgenommen werden oder unterbleiben.

Die leicht ausführbare Aenderung des Walzengewichtes und der verhältnismäßig niedrige Beschaffungspreis (1500 bis 2000 *M*) sind die einzigen Vorteile der Pferdewalzen vor den Dampfwalzen, die im übrigen stets, besonders aber bei Neubauten oder starken Steigungen, den Vorzug verdienen.

Die Dampfstraßenwalzen werden in 2 Hauptformen ausgeführt: der französischen mit 2 hintereinander angeordneten, gleichbreiten Zylindern (vgl. Abb. 10) und der englischen mit 4 Zylindern (vgl. Abb. 11). Letztere Bauart ist zweckmäßiger und wird in Deutschland meist angewendet. Das Dienstgewicht dieser Walzen beträgt 10 bis 20 t. Am gebräuchlichsten sind 3 Typen von 12, 15 und 18 t.

Als Antriebskraft sind 10 bis 30 PS erforderlich.

Die Beschaffungskosten stellen sich je nach der GröÙe auf 10000 bis 20000 *M*.

Als Beispiel sind nachstehend die Hauptabmessungen und Gewichte zweier von der Fabrik Kuhn in Berg hergestellten GröÙen angegeben:

Dampfwalze Nr.	IIIa	IVa
Dienstgewicht t	15,0	17,0
Belastung der Vorderwalzen . . . "	5,5	4,5
" " Hinterwalzen . . . "	9,5	7,5
Radstand m	3,46	3,14
Durchmesser der Treibwalzen . . . "	1,67	1,67
" " Lenkwalzen . . . "	1,20	1,10
Breite der Treibwalzen "	0,44	0,10
" " Lenkwalzen "	0,65	0,58
Lichter Abstand der Treibwalzen . . . "	1,18	1,03

Die wesentlichsten Vorzüge der Dampfwalzen gegenüber den Pferdewalzen sind: Größere Arbeitsleistung, Verwendbarkeit auch bei stark

geneigten Straßen, Walzung vorwärts und rückwärts ohne Wenden, leichte Lenkbarkeit, Verbilligung der Walzarbeit, Erzielung vollkommener Dichtung der Fahrbahn auch bei starker Decklage und hartem Gestein.

Ein Nachteil der Dampfwalzen liegt in ihrem unveränderlichen Gewicht.

Abb. 10.

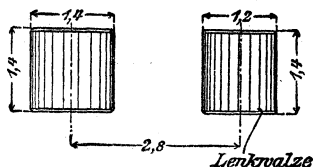
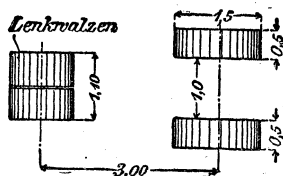


Abb. 11.



Die Geschwindigkeit der Dampfwalze während der Arbeit ist rd. 0,7 m/sk.

Die Länge einer Walzstrecke ist bei der Dampfwalze beliebig, während sie bei Pferdewalzen zweckmäßig zu 400 bis 700 m gewählt wird.

Die Zahl der erforderlichen Walzgänge ist von Art und Stärke der einzuwalzenden Steinschlagschicht sowie von dem Walzengewicht abhängig. Sie beträgt bei hartem Gestein und einer Stärke der Schottererschicht von 6 bis 12 cm rd. 50 bis 150 Gänge.

Genügende Dichtigkeit der gewalzten Strecke ist im allgemeinen vorhanden, wenn nach längerem Walzen ein vor die Walze geworfenes Schotterstück von rd. 4 cm Seitenlänge nicht mehr eingedrückt, sondern zerquetscht wird.

Die **Baukosten der Schotterstraßen** sind je nach den Kosten der zur Verwendung kommenden Baustoffe, nach der Breite der Fahrbahn und der Bankette, nach den Steigungsverhältnissen der Straßen und ihrem Unterbau usw. sehr verschieden und betragen zwischen 10 000 und 40 000 *M* für 1 km Straßenlänge.

Die **Reinigung und Unterhaltung der Schotterstraßen** erstreckt sich auf Beseitigung von Staub und Schlamm, Ausbesserung und Erneuerung der Fahrbahndecke und Ausbesserung schadhafter Teile der Nebenanlagen. Wegen der Kosten vgl. Z. d. H. A. u. I. V. 1904 Heft 2 und Tiefbau 1904 S. 129.

Die Reinigung von Staub und Schlamm 1. von Hand mit Piassava-besen und Holzkratzen, wenn es sich nur um stellenweise Beseitigung der Schmutzstellen auf Straßen mit geringem Verkehr handelt. Wo eine regelmäßige tägliche Reinigung erforderlich ist, besonders bei ebenen oder schwach geneigten breiten Straßen mit sehr starkem Verkehr, wird Handreinigung zu teuer.

2. Reinigung mittels Kehrmaschine rd. 20 bis 30 vH billiger als Handreinigung.

Zur Schonung der Decklage wird zweckmäßig nach erfolgtem Abschlämmen scharfer Kies übergestreut, um etwa entstandene Lücken zwischen den Steinen wieder auszufüllen. Bei Bergstraßen ist ein Abschlämmen in der Regel nicht erforderlich. Bei Landstraßen mit geringem Verkehr genügt es, wenn die Beseitigung der tierischen Ab-

fallstoffe täglich durch den Straßenwärter erfolgt, ein Abschlämmen der ganzen Straße dagegen, soweit überhaupt erforderlich, nur einigemal im Jahr in regelmäßigen Zwischenräumen vorgenommen wird.

Eine erhebliche Verbesserung der Schotterstraßen, Verminderung der Staubeentwicklung und Erleichterung der Reinigung wird durch **Besprengen mit Teer- oder Oellösungen** erzielt.

Die Teerung muß bei warmer, trockener Witterung vorgenommen werden. Auf die regelrecht abgewalzte trockne Oberfläche der Schotterstraße wird heißer, dünnflüssiger Teer von etwa 120° Kesseltemperatur durch Piassavabesen, welche an den „Teerlokomotiven“ angebracht sind, verteilt bzw. wie bei dem Verfahren von Stephan (in Scharley O.-S.) unter 6 bis 8 at Druck fein zerstäubt aufgebracht. Der Verbrauch an Teer wird zu 1,2 bis 2 l für 1 qm Straßenoberfläche und die Dauer der Staubbefreiheit auf etwa 1 Jahr angegeben.

Straßenölung. Westrumit, ein in Wasser lösliches, aus Petroleumrückständen gewonnenes, rotbraun gefärbtes Öl, wird erstmalig in 10 vH-Lösung versprengt, worauf je nach der Stärke des Verkehrs Nachbesprengungen mit 4 bis 5 vH-Lösungen in Zeitabschnitten von 1 bis 4 Wochen erfolgen.

Die Kosten der Teerung bzw. Oelbesprengung betragen je nach Ausführung 8 bis 20 Pf. für 1 qm Straßenoberfläche.

Die Unterhaltung der Fahrbahndecke erfolgt in den ersten Jahren durch sorgfältige Ausbesserung der entstandenen Schlaglöcher, Radspuren, Mulden usw. (**Flicksystem**). Hierbei werden diese Vertiefungen von Schlamm gereinigt, an den Rändern mit der Spitzhacke rauh gehauen und mit Schotter ausgefüllt. Diese Schüttung wird mit Handrammen leicht angerammt, die eigentliche Dichtung derselben dagegen den Fuhrwerken überlassen. Empfehlenswerter ist die sorgfältige Dichtung dieser Flickstellen mit der Straßenzwalze.

Ist die gesamte Decklage schon genügend abgenutzt, so wird die alljährliche Flickarbeit zu teuer und die Straßendecke zu uneben. Alsdann ist die Aufbringung einer durchweg neuen, sorgfältig einzuwalzenden Decklage (**Decksystem**) am Platze. Nach sorgfältiger Reinigung von Staub und Schlamm und Rahmachten breiter Längs- und Querstreifen wird der Schotter in genügender Stärke aufgebracht, nach der Lehre eingebaut und abgewalzt.

Die erforderliche Zahl Walzgänge ist mit Rücksicht auf die bereits feste Unterlage hierbei geringer als beim Neubau. Sie beträgt bei 10 bis 12 cm starker Decke 60 bis 120 Uebergänge, je nachdem das Gestein weich oder hart ist.

Für die Unterhaltung erforderlicher jährlicher Bedarf an Steinschlag für 1 m Straßenbreite und 1 km Länge (1000 qm Straßenfläche).

Bei einem durchschnittlichen täglichen Verkehr von	Bei sehr hartem Gestein cbm	Bei mittelhartem Gestein cbm
20 bis 50 Zugtieren	4 bis 6	6 bis 8
50 „ 100 „	6 „ 7	8 „ 9
100 „ 300 „	7 „ 8	9 „ 10

Die gesamten Unterhaltungskosten für 1 km gewöhnliche Schotterlandstraße betragen im Jahr etwa 450 bis 600 Mark, wovon im Mittel 75 vH auf die Unterhaltung der eigentlichen Schotterbahn entfällt.

b) **Teermakadamstraßen** sind Schotterstraßen mit Packlage, bei denen die Deckschicht aus Steinen mit Teer- und Pechüberzug besteht, Deckschicht zweckmäßig in 2 Lagen aufgebracht. Nach Fertigstellung der Unterbettung werden die gereinigten Schottersteine (von 3 bis 4 cm Korngröße) zunächst in Trockenöfen erwärmt, um das Wasser auszutreiben. Alsdann wird eine Mischung aus gekochtem Teer und Pech übergossen, das Ganze gut durchgearbeitet, bis sämtliche Steine mit einem Teerüberzug versehen sind, bei trockenem Wetter auf die Unterbettung gebracht und unter Kieszusatz eingewalzt.

Unter den verschiedenen Verfahren zur Herstellung von Teermakadam ist u. a. zu erwähnen:

Das System Aeberli (Zürich), wobei der Kies bzw. Schotter in besonderen Mischmaschinen zugleich getrocknet, gereinigt und mit Teer gemischt wird; sodann wird die Mischung schichtweise mit Zwischenlagen von reinem erwärmten Sand in Haufen aufgeschichtet, zum Schutz gegen Wärmeverlust mit Sand vollständig überdeckt und lagert so etwa 8 bis 10 Wochen, währenddessen durch inneres Aufkochen der Masse eine innige Verbindung der Mischung eintritt. Nach Ablauf dieser Zeit beginnt die Mischung zu erstarren und muß, bevor ein Trockenwerden eintritt, verwendet werden.

Die Mischung wird bei trockenem Wetter etwa 10 cm stark auf der gereinigten Straßenfläche ausgebreitet und ohne Wasserzusatz oder sonstige Beimengung erst bankettseitig dann in der Straßenmitte gewalzt und zuletzt mit Steingrus oder Sand bedeckt.

Teerverbrauch für 1 cbm Kies oder Schotter 20 kg, bei Kalkstein 25 kg. Leistung der Mischmaschine zu 10 bis 15 cbm geteilter Mischung für den Tag angegeben (vgl. Z. f. Transp. u. Strb. 1906 Nr. 15).

Ein großer Vorzug der Teermakadamstraßen vor den gewöhnlichen Schotterstraßen ist die Wasserundurchlässigkeit, die geringe Staubentwicklung und die leichte Reinigung. Näheres s. Tiefbau 1906 S. 131 u. f.

c) **Kiesstraßen** dienen in Gegenden, wo gute Steine fehlen oder sehr teuer sind, als Ersatz für Schotterstraßen. Kies, der mit erdigen Bestandteilen vermengt ist, muß vor der Verwendung gereinigt werden.

Sind in dem Kies grobe Stücke in genügender Menge enthalten, so empfiehlt es sich, sie auszulesen, zu zerschlagen und daraus eine Art Grundbau herzustellen, der vor Aufbringen der Decklage abgewalzt werden muß.

Zweckmäßige Mafse Grundbau 15 bis 20 cm, Decklage 10 bis 12 cm, Walzung wie bei den Schotterstraßen.

d) **Pflasterstraßen.**

(Die Herstellungsweise städtischer Pflasterstraßen, s. S. 670 u. f.) Bei Landstraßen wird Pflasterung nur in steinarmen Gegenden (z. B. im nördlichen Hannover und in den Niederlanden) in 2 Arten angewendet, als Kleinpflaster und als Klinkerpflaster.

Das von Gravenhorst 1885 eingeführte **Kleinpflaster** besteht aus möglichst würfelförmigen (Satzfläche nicht kleiner als $\frac{4}{5}$ der Kopffläche) geschlagenen Steinen von 8 bis 10 cm Seitenlänge.

Diese werden auf einer vorhandenen StraÙe, deren Decke erneuert werden muÙ, oder bei Neuanlagen auf einem vorher sorgfältig eingewalzten Grundbau (bzw. auch auf einem Betonfundament) wie gewöhnliches Pflaster mit rd. 2 cm starker Kiesbettung eingepflastert, festgerammt und zur Ausfüllung der Fugen anfangs mit einer Kiesschicht überdeckt. Bei Pflasterung auf einer abgefahrenen StraÙe ist diese zunächst durch Ausfüllen aller Vertiefungen mit Kleinschlag und tüchtiges Abwalzen völlig eben zu machen.

Die Pflasterung wird bisweilen nach Abb. 12 in bogenförmigen Reihen ausgeführt. Als Baustoff eignen sich vorzugsweise harte Gesteinsarten.

Die Kosten betragen etwa 5 bis 8 *M* für 1 qm.

Abb. 12.

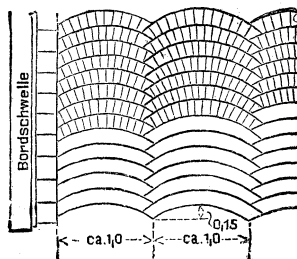
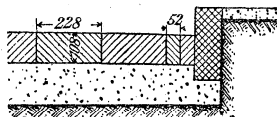


Abb. 13.



Für Kleinpflasterfahrstreifen von geringer Breite (Automobilwege usw.), welche im GroÙpflaster eingelegt werden (so u. a. im Kreise Wolmirstedt in Anwendung), empfiehlt Schallehn (Z. d. B. 1907 S. 202) eine

besondere Unterbettung mit armierten Zementdielen, welche oben auf die übliche Schotterunterbettung längs nebeneinander verlegt werden und als Unterlage mit 1 bis 2 cm Sandzwischenlage für das Kleinpflaster dienen.

Diese Anordnung beseitigt die Schwierigkeit des Abwalzens der schmalen, etwa 2 m breiten Schotterunterbettung und gewährt den Vorteil einer zuverlässigen Einhaltung des StraÙenquerprofils.

Klinkerpflaster aus Hartbrandsteinen ist vielfach in amerikanischen Städten, vereinzelt aber auch in Europa zur Anwendung gekommen; u. a. wird es in den Niederlanden in der Art ausgeführt, daÙ Klinker von $52 \times 108 \times 228$ mm GröÙe hochkantig auf einer starken Kiesbettung mit rechtwinklig zur StraÙenachse laufenden Fugen im Verband gesetzt und festgerammt werden, s. Abb. 13.

Auf ein gutes Widerlager an den Längsseiten mit doppelten Klinkerreißen neben den Bordsteinen ist hierbei besonders Rücksicht zu nehmen, ebenso auf eine genügende Kiesdecke während der ersten Zeit.

Die niederländischen Klinker aus Kleierde und Sand haben gelbe Farbe, die Oldenburger Klinker aus Tonerde und Kieselerde sind blaurot (auch im Bruch!); letztere zeichnen sich durch groÙe Festigkeit aus.

Die Kleinpflaster- und Klinkerpflasterstraßen befahren sich gut, nutzen sich bei gewöhnlichem Verkehr nur langsam und gleichmäßig ab und erfordern wenig laufende Ausbesserungen, die sich außerdem sehr leicht vornehmen lassen.

Für sehr schweren Fuhrwerksverkehr sind sie ebensowenig geeignet wie die Schotterstraßen, da die einzelnen Steine unter schweren Lasten leicht zerdrückt werden.

e) **Nebenanlagen.**

Abteilungszeichen (Kilometer- und Nummersteine), Grenzsteine zur Abgrenzung des Straßengeländes gegen die Nachbargrundstücke, Wegweiser an Straßenkreuzungen und -trennungen, Ortstafeln mit dem Namen und der kommunalen und militärischen Zugehörigkeit des betreffenden Dorfes, sowie Gemeinde-, Kreis-, Provinz- und Landesgrenzpfähle oder Grenzsteine, Chausseehäuser und Schlagbäume an Straßen, für deren Benutzung noch Chausseegeld erhoben wird, Einfriedigungen, Prellsteine, namentlich bei Krümmungen und Böschungen, gemauerte Brüstungen und zum Schutze der Böschungen die Bepflanzung.

C. Städtische Straßen.*)

1. Bau und Unterhaltung der Fahrbahn.

a) **Allgemeines.** Bei Neuanlage von Straßen zwecks Aufschließung eines Baugeländes empfiehlt es sich, die erstmalige Pflasterung und Unterbettung billig zu wählen, um dadurch einerseits die bis zur Bebauung der Straße hierdurch anwachsende Zinsenlast möglichst niedrig zu halten und anderseits die Verlegung der Kanalisations- und Versorgungsleitungen sowie besonders der Hausanschlüsse an diese Leitungen leicht und billig herstellen zu können. Hierzu eignet sich am besten ein Pflaster aus natürlichen oder künstlichen Steinen von genügender Härte, aber geringerer Güte bezüglich Form der einzelnen Steine usw. In Großstädten wird hierzu häufig das abgängige Pflaster aus anderen Straßen verwendet.

Ist die Bebauung des Straßenzuges so weit vorgeschritten, daß ein besseres Pflaster erforderlich wird, so wird das alsdann auch durch den Verkehr der Baufuhrwerke meist abgenutzte Pflaster durch die endgültige Befestigungsart ersetzt (Asphalt-, Holz-, gutes Reihen- oder Makadampflaster je nach Steigung und Verkehr bzw. Bedeutung der Straße). Hierbei wird häufig auch die Unterbettung erneuert werden müssen.

In Berlin besteht beispielsweise das „provisorische Pflaster“ (aus Steinen IV. bis V. Klasse mit Steinen von 15/16 cm Höhe und einer Satzfläche von weniger als $\frac{2}{3}$ der Kopffläche), welche auf einer Kiesbettung von etwa 15 cm Stärke verlegt werden, während das „definitive Steinpflaster“ aus Würfeln 19/20 (I. Klasse) oder auch aus prismatischen Steinen II. bzw. III. Klasse von 15/16 oder 19/20 cm Höhe besteht, deren Satzfläche $\frac{4}{5}$ bzw. $\frac{2}{3}$ der Kopffläche beträgt; letzteres wird auf einer abgewalzten Packlage- (10 cm) und Schotterbettung (10 cm) in Pflastersand (2 bis 3 cm) gesetzt.

*) Vgl. Kapitel „Städtebau“.

Die endgültige Befestigungsart soll im allgemeinen folgende Eigenschaften besitzen:

α) Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung der Verkehrslasten durch genügend harte Deckschicht und ausreichend starke Unterbettung bzw. Grundplatte.

β) Geräuschlosigkeit durch ebene, etwas nachgiebige Fahrbahn (am besten Holz oder Asphalt) auf zusammenhängender fester Grundplatte.

γ) Schonung der Zugtiere durch zweckmäßige Wahl der Straßebefestigung entsprechend den Steigungsverhältnissen und dem Verkehr.

δ) Vermeidung von Staub und Geruch durch sorgfältige Dichtung (Vergießen) aller Fugen sowie durch regelmäßige Reinigung der Straßen.

ϵ) Leichte und schnelle Ausführbarkeit von Ausbesserungen zur Vermeidung von Verkehrsstörungen durch Unabhängigkeit der Fahrbahndecke von der Unterbettung.

ζ) Verkehrssicherheit für Menschen und Tiere durch Erhaltung genügender Rauigkeit (event. durch Sandstreuen).

b) **Die Unterbettung** bezweckt eine sichere Uebertragung der Radrücke auf den Untergrund. Sie kann je nach Wahl der Pflasterung bzw. nach Art und Größe des Verkehrs bestehen aus einer:

α) groben Sandschicht von 10 bis 40 cm Stärke entsprechend der Beschaffenheit des Untergrundes. Eine Dichtung dieser Sandschicht durch Einschlämmen oder Feststrammen ist bei größerer Stärke als 20 cm erforderlich.

β) eingewalzten Kies- oder Schotterlage von 10 bis 20 cm.

Bei α und β ist sorgfältiges Feststrammen der Pflasterung notwendig.

γ) festgewalzten Chaussierung mittels Packlage und Decklage (vgl. S. 660 u. 661).

δ) Betonschicht von 20 bis 30 cm Stärke. Der Beton wird entweder als Steinschlagbeton in Mischung 1:3:6 (1 R.-T. Zement zu 3 R.-T. Sand zu 6 R.-T. Steinschlag) oder als Kiesbeton in sog. einfacher Mischung 1 t Zement auf cbm Kies) hergestellt und entsprechend dem erforderlichen Gefälle mit reinem Zementmörtel 1:2 abgezogen.

Bei Asphaltstraßen wird bisweilen in Rücksicht auf den Einbau von Straßenbahngleisen die Betonbettung zweischichtig mit einem etwa 15 cm starken Unterbeton 1:3:6 und einem etwa 10 cm starken Oberbeton 1:2:4 hergestellt (vgl. „Tiefbau“ 1907 S. 36), in dessen dürfte die Ausführung einer ungeteilten durchgehenden Betonbettung bei entsprechender Verlegungsart der Straßenbahngleise den Vorzug verdienen.

Von diesen Bettungsarten eignen sich die unter α bis γ aufgeführten für Pflaster aus natürlichen oder künstlichen Steinen, während die unter δ besonders bei Asphalt- oder Holzpflaster Anwendung findet.

In Straßen mit besonders schwerem Verkehr wird zuweilen auch für Granitwürfelpflaster als Unterbettung Zementbeton (vgl. d') gewählt.

c) **Die Pflasterung.**

α) **Pflaster aus natürlichen Steinen.**

Nach der Form der verwendeten Steine unterscheidet man folgende Arten:

Rauhес Pflaster (Bauerndamm, Wackepflaster, Polygonalpflaster), aus aufgespaltenen Findlingen oder wenig bearbeiteten Bruchsteinen bestehend, wird meist nur in kleineren Städten und in Straßen von ganz untergeordneter Bedeutung angewendet und in Kiesbettung mit unregelmäßigen Fugen ähnlich dem Zyklopenverband verlegt. Die zur Verwendung kommenden Steine müssen möglichst gleich groß und von gleicher Härte sein, um die Bildung von Löchern und ausgefahrenen Stellen zu verhüten.

Reihenpflaster besteht aus regelmäßig bearbeiteten Steinen von gleichbreiten rechteckigen Kopfflächen und nach unten stark verzögerten Seitenflächen (vgl. Abb. 14c) und ist zweckmäßig für erstmalige Pflasterung bei Neuanlage zu bebauender Straßen zu verwenden, jedoch für starke Steigungen nicht geeignet, da die Steine leicht kippen.

Abb. 14.



Kopfsteinpflaster ist die in großen Städten am meisten angewendete Pflasterart aus natürlichem Gestein (vgl. Abb. 14b). Hierbei besitzen die einzelnen Steine gleiche Höhe und Kopfflächen von gleicher Breite und annähernd gleicher Länge, während die Seitenflächen leichten Anzug aufweisen, derart, daß die Fußfläche nur um 1 bis 2 cm schmaler als die Kopffläche sein darf. In Berlin erhalten die prismatisch bearbeiteten Pflastersteine von 15/16 bzw. 19/20 cm Höhe, 15 bis 30 cm Länge und 12 bis 13 oder 13 bis 14 cm Breite eine Satzfläche bei II. Klasse von $\frac{4}{5}$, bei III. Klasse von $\frac{2}{3}$ der Kopffläche. Auch sollen hierbei, um ein Kanten der Steine zu verhindern und eine gute Fugenabdichtung zu ermöglichen, die Seitenflächen von oben her zunächst auf 3 bis 5 cm senkrecht verlaufen und der Anzug erst von da ab beginnen. Ein Umkehren der Steine ist ausgeschlossen.

Das **Würfelpflaster** besteht aus vollkommen rechteckig bearbeiteten Steinen von gleicher Länge, Breite und Höhe (vgl. Abb. 14a), in Berlin als Pflaster I. Klasse bezeichnet. Vorteile dieser Steine sind gute Druckübertragung, Umdrehung nach Abnutzung der Kopffläche und bei guter Unterbettung Vermeidung jeder Verschiebung bzw. Senkung einzelner Steine. Nachteile dagegen hohe Beschaffungskosten und breitere Fugen (da das Rammen sonst zu sehr erschwert ist), infolgedessen starke Abnutzung der Kanten und allmähliches Rundwerden der Kopfflächen.

Das zu obigem Pflaster verwendete Gestein soll außer den auf S. 670 u. 671 aufgeführten Eigenschaften noch die leichter Spaltbarkeit besitzen. *)

*) Näheres s. Dietrich, Die Baumaterialien der Steinstraßen. Berlin 1885.

Gebräuchlich sind Pflastersteine aus Granit, Diorit, Porphyr, Trachyt bzw. auch Sandsteine und Kalksteine von größerer Härte.

Die Abmessungen der bearbeiteten Pflastersteine macht Prof. Dietrich abhängig von ihrer Festigkeit und empfiehlt folgende Maße:

Bei einer Druckfestigkeit von	$b =$	$l =$	$h =$
$k \geq 1200 \text{ kg/qcm}$	10	22,5	15
$k = 800-1200 \text{ kg/qcm}$	10	22,5	20
$k < 800 \text{ kg/qcm}$	12	25	20
	18	18	18

Im allgemeinen ist die Breite der Steine — besonders bei hartem Gestein sowie in Steigungen — möglichst klein (etwa = 10 cm) zu wählen, um eine gleichmäßige Abnutzung an den Kanten und in der Mitte zu erzielen und den Pferden besseren Halt zu gewähren.

Die Höhe der Steine ist abhängig vom Raddruck und der Unterbettung. Sie ist bei schweren Lasten und leichter Unterbettung möglichst groß zu nehmen.

Die Länge wird meist zu $1\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2} b$ gewählt, je nachdem b groß oder klein ist.

Die zum Anschluß an die Bordsteine erforderlichen „Anfänger“ sind, wenn die Fugen zur Straßennachse rechtwinklig stehen, $1\frac{1}{2}$ mal so lang wie die gewöhnlichen Steine, da man Steine von $\frac{1}{2}$ gewöhnlicher Länge nur ungern verwendet.

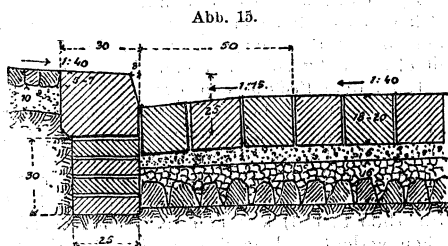
Als Spielraum in den Abmessungen kann bei gutem Pflaster für b und h bis zu $\pm \frac{1}{2}$ cm, für l bis zu 2 cm zugelassen werden.

Die Ausführung der Pflasterung beginnt mit dem Verlegen der Bordsteine — meist auf fester Unterlage aus Mauerwerk oder Beton — und Hinterfüllen derselben. Alsdann folgt die Herstellung der Unterbettung (Sand, Kies, Chaussierung oder Zementbeton), Aufbringen des Pflasterkieses (8 bis 10 cm stark) und Versetzen der Anfänger und Punktsteine als Höhenmarken für die weitere Pflasterung. Auf lotrechte Stellung der Steine, gute Unterfüllung und schmale Fugen ist besonders Bedacht zu nehmen.

Abb. 15 zeigt einen Straßenquerschnitt mit „definitivem Pflaster“ im Anschluß an den Bürgersteig.

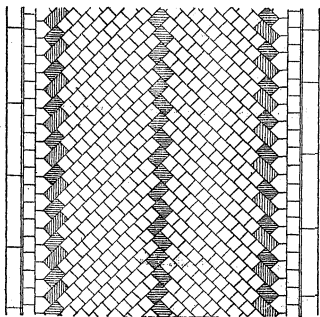
Bei dem Reihen- und Würfelpflaster werden die durchgehenden Fugen rechtwinklig zur Straßennachse, bei letzterem auch diagonal (unter 45° gegen die Straßennachse) nach der in Abb. 16 dargestellten Verlegungsart angeordnet.

Dabei sind im letzteren Falle für den Anschluß an die Bordschwellen



besondere Anfängersteine (Fünfecksteine) erforderlich; und da man die Diagonalreihen in der Strafsenmitte unter 90° zusammenlaufen läßt,

Abb. 16.



so sind zur Herstellung des Verbandes in der Strafsenkronen noch besondere Steine von $1\frac{1}{2}$ -facher Länge der Normalsteine (sog. Binder) nötig, während der seitliche Anschluß an die Fünfecksteine zur Erzielung eines guten Verbandes abwechselnd aus Bindern und Doppelsteinen (mit doppelter Länge der Normalsteine) hergestellt wird (vgl. Abb. 16).

Bei Normalsteinen von 20×20 qcm Kopffläche, einer Länge der Binder und Fünfecksteine von 30 cm und Doppelsteinen von 40 cm beträgt für L m Strafsenlänge die Anzahl der

Fünfecksteine	$\frac{2L}{0,3}$
Binder	$\frac{4L}{0,3}$
Doppelsteine	$\frac{L}{0,3}$

Der Grundgedanke für die Anwendung des Diagonalpflasters war, das Kanten der Steine unter den Pferdehufen zu verhindern und das Schlagen der Räder beim Ueberrollen über die Fugen durch Schräganordnung der letzteren zu verhüten.

Diese Nachteile des Querreihenpflasters lassen sich indessen bei sorgfältiger Ausführung vermeiden, und da im übrigen das Diagonalpflaster teuer und besonders für Strafsen mit Strafsenbahngleisen nicht zweckmäßig ist (vgl. Abschn. „Strafsenbahnen“ unter „Elektrotechnik“), pflegt man neuerdings dem Reihenpflaster mit rechtwinklig zur Strafsenachse laufenden Querreihen den Vorzug zu geben.

Das Festrammen der mit etwa 2 bis 3 cm Ueberhöhung versetzten Pflastersteine erfolgt gewöhnlich mittels 15 bis 25 kg schwerer einmänniger Rammen (Jungfern), in einzelnen Städten (Mainz) auch mit etwa 50 kg schweren viermännigen Rammen.

Nach dem Festrammen der Pflasterung sind die Fugen sorgfältig auszufüllen, u. zw. bei geringwertigem Pflaster mittels 2 cm Bekiesung; bei Kopfstein- oder Würfelpflaster dagegen durch Ausgießen mit Zementmörtel oder Gufsasphalt (Teermischung).

Zu erwähnen sind noch Versuche mit Pflasterabdichtungen aus Metallstreifen; so werden z. B. bei dem System Hirst (Z. f. Transp. u. Strb. 1906 S. 123) Metallstreifen von 3 m Länge zwischen den Pflasterreihen verlegt, welche das Rundwerden der Pflastersteinkanten verhüten sollen.

Die Unterhaltungsarbeiten bestehen hauptsächlich in dem Ersetzen zersprungener Steine, dem Beseitigen von Senkungen und Erhebungen sowie dem Umlegen ganzer Pflasterstrecken. Letzteres ist je nach dem Verkehr und der Härte des verwendeten Gesteins innerhalb 5 bis 20 Jahren erforderlich.

β) Pflaster aus künstlichen Steinen.

Ueber das in Niederdeutschland viel verwendete Klinkerpflaster s. S. 669.

Schlackensteinpflaster.

Die Schlackensteine werden aus in Formen gegossener Hochofenschlacke von besonderer Zusammensetzung oder auch aus Mansfelder Kupferschlacken durch langsame Abkühlung hergestellt und geben bei sorgfältiger Ausführung ein ebenes, gutes, wenn auch leicht glatt werdendes Pflaster, sind jedoch für schweren Verkehr wegen ihrer Sprödigkeit nicht geeignet.

Kunststeine ergeben bei geeignetem Rohstoff und sachgemäßer Herstellung ein gutes, aber meist teures Pflaster.

Hier sind zu erwähnen die künstlichen Pflastersteine von Löh (Frankfurt a. M.), das sog. Vulkanolpflaster der Firma Vetter A.-G. (gesinterte Presssteine aus Hartgesteinstrug), die Hefs'schen Kunststeine (Z. f. Transp. u. Strb. 1894 S. 256), das Budapester Keramitpflaster u. a. m.

γ) **Zementmakadam.** Auf einer 20 bis 25 cm starken, bereits erhärteten Unterlage aus magerem Beton wird eine 5 bis 6 cm starke Deckschicht besten Steinschlages, gemischt mit reinem Zementmörtel (1 Zement auf 2 Teile Kies), erdfeucht aufgebracht und, damit der Zement gut abbindet, sofort festgestampft, bis sich an der Oberfläche Wasser zeigt.

Der Steinschlag ist so zu wählen, daß seine Härte und Abnutzbarkeit gleich der des abgebundenen Mörtels ist.

Ueber verschiedene Ausführungsarten von Zement-Makadam der Systeme Kieserling, Roscher, Malik, Meloco u. a. vgl. „Beton u. Eisen“ 1905 Hefte I, III, VIII.

Besonders wird empfohlen, in dem Zementmakadamspflaster Temperaturfugen mit hochkantig gestellten Flacheiseneinfassungen und Gufasphaltfüllung in geeigneten Abständen vorzusehen.

Diese Art Pflasterung hat besonders in Amerika vielfach Anwendung gefunden.

Für verkehrsreiche Straßen ist der Zementmakadam im allgemeinen nicht zu empfehlen, weil bei der Neubefestigung und bei Ausbesserungen die Straßen wegen der zum Abbinden des Zementmörtels erforderlichen Zeit zu lange gesperrt werden müssen.

δ) **Gufasphalt** ist bisher in Deutschland zur Befestigung von Straßenfahrbahnen, weil zu teuer, nur in einzelnen Städten, wie Mainz, Hanau und Stuttgart angeblich mit gutem Erfolg verwendet worden. Dagegen sind Gufasphaltstraßen in Amerika, wo sie mit 6 bis 10 cm starker Asphaltenschicht hergestellt werden, schon seit Jahren in großem Umfang zur Ausführung gelangt. Hervorgehoben wird, daß diese Straßen sich geräuschloser befahren und daß sie die Pferdegelenke mehr

schonen sollen, als dies bei den härteren Stampfasphaltbahnen der Fall ist. Allerdings ist hierbei eine besonders sorgfältige Ausführung erforderlich (vgl. Tiefbau 1906 S. 364). Außerdem erweichen sie in der Sommerhitze leichter als Stampfasphalt und sind daher im Sommer dauernd feucht zu halten.

Nach Löwe besteht die Mischung aus 12 bis 15 vH Trinidadasphalt, 70 bis 83 vH Sand und 5 bis 15 vH Kalksteinpulver.

Der Asphalt wird unter Zusatz von Kalksteinpulver geschmolzen und mit getrocknetem, feinem Sand innig vermengt; die so gewonnene zähe Masse wird auf der Betonunterlage in Streifen rechtwinklig zur Straßennachse gleichmäßig ausgebreitet, geebnet, mit Sand bestreut und gedichtet. In Deutschland wird der Gufsasphalt im Straßenbau im allgemeinen nur als Fußwegbelag sowie bei Stampfasphaltbahnen zur Herstellung der Anschlüsse an die Straßenbahngleise an Stelle der früher üblichen teuren Granitschwellen, neuerdings auch versuchsweise zwischen den Schienen (Charlottenburg), verwendet.

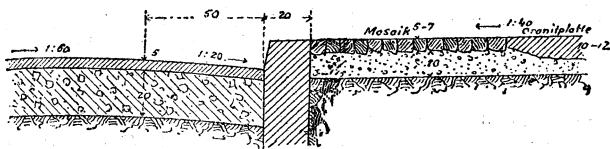
ε) **Stampfasphalt** ist die in allen besseren Straßen der deutschen und französischen Großstädte vorherrschende Befestigungsart. Zu ihrer Herstellung wird der Asphaltstein zu feinem Mehl gemahlen, letzteres in eisernen Trommeln auf etwa 140° C erhitzt und heiß auf der Unterbettung in einer gleichmäßigen Stärke von 8 cm mittels Abziehplatte ausgebreitet. Alsdann wird diese Schicht durch heiße Walzen mit Innenfeuerung sowie durch rd. 20 kg schwere in Kohlenbecken erhitze Stempel (Stampfen) gedichtet und schließlich durch erhitze Bügeleisen geglättet.

Zu erwähnen ist als Ersatz der von Hand betätigten Stampfen die von Dietrich eingeführte Asphaltstampfmaschine, welche nach dem Prinzip des Hammerwerks arbeitet und eine gleichmäßige schnelle und infolge Ersparnis an Arbeitskräften billige Stampfarbeit leistet.

Die Stärke der fertigen Asphaltdecke beträgt in der Regel 5 cm. Die Abnutzung in belebten Straßen $\frac{1}{2}$ bis 1 cm für 1 Jahr.

Das spezifische Gewicht des frischen Stampfasphalts ist nach Dietrich = 2,05 bis 2,10, das des alten, längere Zeit befahrenen 2,25 bis 2,35.

Abb. 17.



Der Querschnitt einer Asphaltstraße im Anschluss an den Bürgersteig ist in Abb. 17 dargestellt.

Als Uebelstand dieser Befestigungsart kommt die häufige Rissbildung rechtwinklig zur Straßennachse, ferner die große Glätte bei Regen oder Frostwetter in Betracht; daher sind sorgfältige Unterhaltung

(Herausschneiden der gerissenen Flächen, Schlaglöcher, Blasen usw. und Ersetzen derselben durch frischen Asphalt nach vorherigem Bestreichen der Anschlußflächen mit Goudron) und andauernde Reinigung bzw. bei Frost- und Tauwetter Sandstreuung erforderlich.

Gegen die Rissebildung, welche großenteils auf das Aufrollen und Wandern der Asphaltdecke unter dem Wagenverkehr zurückzuführen ist, dürfte es sich empfehlen, die unter dem Asphalt liegende Oberfläche der Betonunterbettung nicht, wie meist üblich, zu glätten, sondern aufzurauen, damit der Asphalt besser an der Bettung haftet. Es werden dadurch auch die gefürchteten Wassersäcke unter der Asphaltdecke, welche besonders bei Frost zur Zerstörung der Betonbettung beitragen, verhütet.

Besondere Sorgfalt ist auf den Anschluß des Asphalts an die Bord-schwellen, Gullys, Revisionsbrunnen usw. und vor allem an die Strafsenbahnschienen zu verwenden. Bezüglich der letzteren vgl. „Strafsenbahnen“ Abschn. „Elektrotechnik“.

Die Kosten für die Herstellung von Stampfasphalt betragen einschl. der Betonunterbettung (in einfacher Mischung 1 : 8) etwa 12 bis 14 *M* für 1 qm (in Berlin 12,50 *M*).

Als Abart des Stampfasphalts ist der besonders in Amerika früher weit verbreitete „Berberasphalt“ zu erwähnen, eine Mischung aus gereinigtem und mit Petroleumrückständen versetztem Trinidadasphalt, dem sog. Asphaltzement, (14 vH) mit Sand (76 vH) und gepulvertem Kalkstein (10 vH). Die Herstellung des Berberasphalts entspricht dem oben für Stampfasphalt angegebenen Verfahren, nur wird die Asphaltdecke zum Schlufs noch mit einer schweren Dampfwalze überwalzt.

Als besonderer Vorteil dieses künstlichen Asphalts wird seine geringe Glätte angegeben.

ζ) **Plattenasphalt** besteht aus geprefsten Asphaltplatten, die auf der Baustelle nach vorherigem Erwärmen im Verband verlegt werden.

Die Fugen werden mit flüssigem Asphalt oder Asphaltpulver gefüllt und gedichtet. Als Unterbettung ist hier eine sehr sorgfältig geebnete Zementbetonschicht angebracht.

η) **Holzpflaster** ist in größtem Maße in Amerika zur Anwendung gelangt; in Deutschland vorwiegend nur bei steileren Strafsen (bis $\frac{1}{40}$ Gefälle), vgl. auch S. 650 sowie als Belag für Strafsenbrücken und ihre Zufahrtrampen.

Als Unterbettung dient wie bei Asphaltpflaster eine Betonschicht von 15 bis 25 cm Stärke, deren Oberfläche dem Strafsenquerprofil entsprechend mit einer Zementmörtelschicht von etwa 1 cm Stärke glatt abgeglichen wird (Abb. 17).

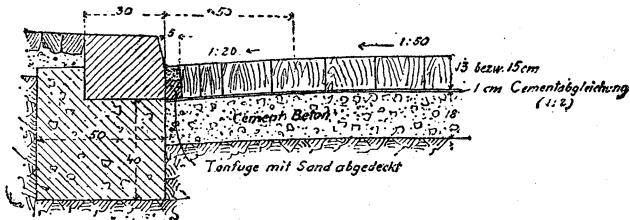
Das zu Holzpflaster verwendete Holz muß sorgfältig ausgesucht werden und darf bei derselben Strafsenstrecke nicht aus verschiedenen Gegenden oder Höhenlagen stammen oder gar aus verschiedenen Holzarten bestehen. Zur Verwendung kommen von einheimischen Hölzern die Fichte, Kiefer und Buche (letztere weniger geeignet); von fremden Hölzern die wesentlich härtere amerikanische Zypresse, Yellow-

pine und Pitchpine und in neuester Zeit die australischen Eukalyptushölzer (Eisenholz) Karri-, Jarrah- und Tallowwood.

Das Holz muß von möglichst gleichmäßiger Dichtigkeit und ast- und splintfrei sein.

Bei Weichholzpfaster (z. B. schwedische Kiefer) werden die Holzklötze zur Verhinderung der Fäulnis mit Teeröl oder Zinkchloridlauge getränkt. Ersteres Verfahren ist besonders zu empfehlen, weil dadurch gleichzeitig das spätere Aufsaugen von Wasser und Aufquellen der Klötze wesentlich herabgemindert wird.

Abb. 17 a.



Die Abmessungen der Pflasterklötze sind verschieden und betragen im Mittel: Breite = 7 bis 10 cm, Länge = 18 bis 30 cm, Höhe = 12 bis 18 cm. Das Normalformat für London und Paris ist $7,5 \times 22,5 \times 15$ cm. In Berlin ist für Weichholz eine Stöckelhöhe von 13 cm üblich.

Die Holzstöckel werden so geschnitten, daß die Faserrichtung der Höhe entspricht, um eine möglichst große Festigkeit bei geringster Abnutzung zu erzielen.

Die Klötze werden gewöhnlich vor dem Verlegen mit ihrem unteren Ende in heißen Teer oder Asphalt getaucht und alsdann auf der sorgfältig abgeglätteten Unterbettung mit durchgehenden Quertugen und versetzten Längsfugen verlegt. Die Fugung kann auch hier entweder rechtwinklig oder unter 45° zur Strafsenachse geneigt schwalbenschwanzförmig hergestellt werden; letztere Anordnung ist bei Strafsen mit Strafsenbahngleisen wegen der erhöhten Kosten infolge Verschnitt beim Anschluss an die Schienen und deren Spurstangen (vgl. „Strafsenbahnen“ Abschn. „Elektrotechnik“) nicht zu empfehlen.

Die Fugenweite hängt von der Art des Vergufmittels ab und beträgt 2 bis 5 mm bei Teer und Asphalt, 5 bis 10 mm bei Zementmörtel (1:2). Als guter Mittelwert ist 5 mm zu empfehlen. Sie ist möglichst gleichmäßig zu halten und wird durch zwischengelegte Lattenstücke von entsprechender Stärke und 20 bis 40 mm Höhe erzielt.

Im Anschluss an die Bordschwellen werden die Querreihen durch gewöhnlich zwei Längsreihen von Holzstöckeln zur Aufnahme des Seitenschubes des Pflasters begrenzt und dicht neben der Bordschwelle eine etwa 5 cm breite Tonfuge mit Sandabdeckung vorgesehen, um beim Quellen des Holzes ein Hochheben (Wassersäcke) zu verhüten (vgl. Abb. 17 a).

In Tiefpunkten des Straßenslängsprofils sowie beim Uebergang vom Holzpflaster zum Asphaltpflaster usw. werden neuerdings zur Ableitung des Sickerwassers in der Betonunterbettung Querschlitz mit Eiseneinfassung eingelassen, welche an die Kanalisationsleitungen angeschlossen werden.

Nach Fertigstellung wird das Holzpflaster mit einer dünnen Schicht Teer bzw. Asphalt oder Zementmörtel überstrichen und 1 cm stark mit scharfkantigem, grobem Kies (am besten Steingrus aus einem Schotterwerk) überstreut. Letzterer wird durch den Wagenverkehr alsbald in die Fasern des Hirnholzes eingedrückt und bildet sehr bald eine 1 bis 2 cm starke, sehr widerstandsfähige Filzschicht, von deren Pflege im wesentlichen die Dauer des ganzen Pflasters abhängt. Zur Erhaltung dieser Filzschicht dient außer ständiger Straßensreinigung eine allmonatlich zu wiederholende Bestreuung mit Kies. Bei sorgfältiger Unterhaltung und gutem Baustoff schreitet diese Filzschicht jährlich um rd. 0,5 cm nach unten fort.

Die Dauer dieser Pflasterung beträgt 10 bis 15 Jahre. Sie ist außer von der Holzart und dem Verkehr auch von den Witterungsverhältnissen abhängig.

Auf Droschenhalteplätzen ist der Teerüberzug öfter zu erneuern und für täglich mehrmalige Reinigung durch Wasserspülung Sorge zu tragen.

Die Herstellungskosten betragen einschl. Betonunterbettung (einfache Mischung 1:8) rd. 14 bis 15 \mathcal{M}/qm .

Bei Hartholzpflaster ist die Verlegungsart im wesentlichen die gleiche, nur werden hier die im allgemeinen niedrigeren Holzstöckel (9 bis 11 cm Höhe) meist trocken auf der sorgfältig abgeglichenen Betonbettung verlegt und die Fugen mit Zementmörtel 1:1 ausgegossen.

Die fertige Straßendecke erhält dann eine Steingrusaufschüttung von 1 cm Stärke.

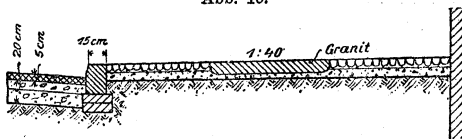
Die Herstellungskosten des Hartholzpflasters betragen einschl. Betonunterbettung (einfache Mischung 1:8) etwa 19 bis 20 \mathcal{M}/qm .

Bezüglich der Verlegung von Straßensbahngleisen in Holzpflasterstraßen vgl. „Straßenbahnen“ im Abschn. Elektrotechnik.

2. Bau und Unterhaltung der Fußwege.

Zum Abschluß der Fußwege gegen die Fahrbahn werden Bordsteine oder Bordschwellen verwendet, u. zw. erstere aus 8 bis

Abb. 18.



10 cm starken, roh behauenen Platten von 25 bis 35 cm Höhe meist für Chausseen und untergeordnete Straßen, letztere aus 20 bis 30 cm hohen, 1 bis 2 m langen Granitsteinen mit 15 bis etwa 30 cm oberer Breite hergestellt (Abb. 17a u. 18).

Während die Bordsteine lediglich eingegraben werden, erhalten die Bordschwellen meist eine leichte Untermauerung aus 2 bis 4 Steinschichten oder einer Lage Beton (s. auch Abb. 14 u. 17a).

Vereinzel werden auch die Bordsteine aus Beton evtl. mit Wasser- rinne (vgl. Abb. 20) oder aus eisenarmierten Betonsteinen (System Troger & Zottmann, Abb. 21 — Z. d. B. 1907, Nr. 29) hergestellt.

Abb. 19.

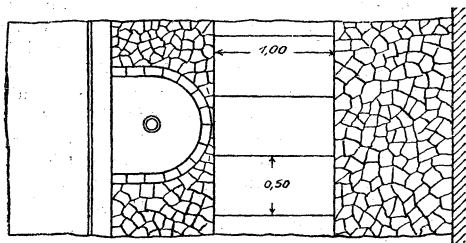


Abb. 20.

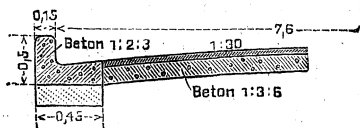
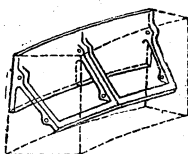


Abb. 21.



Die Befestigung der Fußwege wird entsprechend ihrer Bedeutung hergestellt aus:

α) Kies oder Sand, 2 cm stark, auf einer festgestampften 8 bis 10 cm starken Schicht Kleinschlag oder Lehm und Kies, letztere beiden je zur Hälfte gemischt.

β) Wie vor, jedoch mit einem rd. 1 m breiten Längsstreifen aus Mosaikpflaster.

γ) Durchweg Mosaikpflaster aus möglichst gleichmäßigen vollkantigen harten Kalksteinchen.

δ) Klinkerpflaster (hochkantig oder flach).

ε) Sandstein-, Zement- oder Granitplatten.

ζ) Gufasphalt, 2 bis 3 cm stark auf einer 10 bis 15 cm starken Betonschicht.

η) Zementestrich, 2 bis 3 cm stark, geriffelt, auf Betonschicht wie vor.

θ) Fliesen (Bitterfelder oder Mettlacher usw.) auf Betonschicht in Zementmörtel verlegt.

4) Granitoidplatten, aus einer besonders sorgfältigen Mischung von Zementmörtel mit Granitkleinschlag hergestellt.

Von diesen verschiedenen Arten empfiehlt sich die Ausführungsweise α) besonders für Parkanlagen sowie für Fußwege in der Nähe von Städten; β) für neue, noch nicht bebaute städtische Straßen sowie gleichfalls für Parkwege; γ) nur für schmale Fußwege; δ) da wo andere Steine schwer zu haben sind; ϵ) sehr zweckmäßig zur Herstellung von 1 bis 2 m breiten Streifen parallel zur Bordschwelle in 1 bis 1,5 m Abstand von derselben (s. Abb. 19); die verbleibenden Flächen werden mit Mosaikpflaster befestigt, wodurch das Verlegen und Nachsehen der Versorgungsleitungen sehr erleichtert wird; ζ) und η) für Fußwege auf Brücken sowie für solche Fußsteige, unter denen keine Versorgungsleitungen liegen. Der Asphalt ist dabei 2 cm (an Einfahrten 3,3 cm) stark zu wählen; θ) besonders für überdachte Bahnsteige, Hausflure usw. Für Ausführungen im Freien mit Rücksicht auf das Abfrieren und Zerspringen einzelner Platten weniger geeignet; ι) für hervorragende städtische Straßen (in Berlin: Unter den Linden und am Leipziger Platz), in der Ausführung wie bei ϵ , jedoch mit passenden künstlichen Steinen zur Herstellung des Mosaikpflasters.

3. Straßenreinigung.

Die Reinigung der Straßen erstreckt sich hauptsächlich auf das Beseitigen von tierischen Abfallstoffen sowie von Schlamm und Staub. Sie geschieht teils von Hand (mit Besen, Gummikratzen, Holz- oder Eisenkratzen), teils mit Kehrmaschinen.

Die stündliche Arbeitsleistung beträgt mit Handgeräten für 1 Mann 300 bis 700 qm, mit Kehrmaschinen für 1 Pferd 5000 bis 9000 qm. Hierbei hat die Kehrmaschine eine Arbeitsbreite von 1,5 bis 2 m und erfordert zu ihrer Bedienung und zur weiteren Behandlung des an die Bordschwellen gefegten Kehrriechts 10 Mann.

Die jährlichen Reinigungskosten gepflasterter Straßen stellen sich bei Handarbeit auf 0,13 \mathcal{M} , bei Kehrmaschinen auf 0,09 \mathcal{M} , die der Asphaltstraßen einschl. Waschens auf 0,26 bzw. 0,22 \mathcal{M} für 1 qm.

Das **Begießen und Waschen** der Straßen ist erforderlich zur Verhütung der Staubentwicklung, besonders bei dem Kehren sowie zur Minderung der Hitze im Sommer. Es dient ferner zur Erweichung des festgefahrenen Schmutzes bei Asphalt und Holzpflaster, darf jedoch bei Frostwetter nicht vorgenommen werden. Das Besprengen wird mittels Gießkanne oder mittels Rollschläuchen, welche an die Hydranten angeschlossen werden, oder ferner mittels Handsprengkarren von 250 l Inhalt, 2 m Sprengbreite und rd. 600 bis 650 qm besprengter Fläche für 1 Füllung, bzw. mittels einspänniger Sprengwagen von rd. 1500 l Inhalt, 4 m Sprengbreite bei wagerechtem Brauserohr (6 bis 8 m bei Türkischem Turbinen-Schleuderapparat) und einer täglichen Leistung von 12 ha besprengter Fläche bei 40 Füllungen ausgeführt. Die täglichen Kosten eines Sprengwagens

betragen rd. 8 *M* (ohne Wasser). Zu erwähnen sind noch Automobilsprenghwagen mit Druckluftwassersprengung (Berlin), welche gestatten, eine Fahrdambbreite bis zu 16 m bei einmaliger Fahrt zu besprengen, wodurch gegenüber der sonst üblichen mehrfachen Streifenbesprengung eine erhebliche Zeitersparnis erzielt wird.

Derartige Druckluftsprenghwagen sind auch als Straßenbahnmotowagen gebaut worden (u. a. in Köln).

Das Waschen und Reinigen der Asphalt- und Holzstraßen erfolgt meist in der Art, daß die Straße zunächst besprengt wird, um den Schmutz aufzuweichen. Alsdann erfolgt nach $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunde eine nochmalige gründliche Sprengung und unmittelbar dahinter die Reinigung mittels Kehrmachine oder Bürste und Gummikratze. Hierauf bei Asphaltpflaster Bestreuen mit Kies.

Neuerdings sind zur Reinigung der Asphaltstraßen besondere kombinierte Wasch- und Kehrmachines (Berlin) eingeführt worden, welche den Arbeitsvorgang des Waschens und Kehrens gleichzeitig ausführen. Der Betrieb erfolgt dabei entweder mit Pferden oder in neuester Zeit auch mit elektromotorischem Antrieb (Waschautomobile).

Außer dieser in der Regel nachts von $\frac{1}{2}$ 12 Uhr ab stattfindenden gründlichen Reinigung ist in den belebteren städtischen Straßen bzw. auf den Marktplätzen während des ganzen Tages für **Forttschaffen der Abfallstoffe** und sonstiger groben Verunreinigungen durch Handarbeit Sorge zu tragen, wobei der Kehrriht einstweilen in Schmutzkästen aufgesammelt wird, welche auf den Bürgersteigen dicht an der Bordschwelle (in etwa 0,70 m Abstand) aufgestellt sind; auch erfolgt vereinzelt (auf besonders verkehrsreichen Straßen Berlins) die Beseitigung der Abfallstoffe in besondere, in den Bordschwellen eingebaute Abfallschächte, welche an die Kanalisation angeschlossen sind.

Zur **Beseitigung des Staubes** auf Asphaltstraßen sind in Berlin in neuester Zeit erfolgreiche Versuche mit Oelbesprengungen (verdünntes Westrumit 1:100) gemacht worden, welche auch auf den verkehrsreichsten Straßen die Staubbildung auf etwa 2 bis 3 Monate verhinderten. Die Oelbesprengung der Asphaltstraßen hat sich auch in der Frostperiode gut bewährt, da die Bildung von Glatteis dadurch hintangehalten wurde.

Die **Schneebeseitigung** geschieht in größeren Städten durch Handgeräte und Schneepflüge, letztere mit schrägen, winkelförmigen oder auch aus mehreren federnden Pflugscharen (Berlin) bestehend, werden meist von Pferden gezogen, indessen sind auch Schneepflüge in Verbindung mit Lastautomobilen oder Straßenbahnwagen in Gebrauch.

Der Schnee wird entweder nach besonderen Ablagerungsplätzen gefahren oder im Notfalle in geeignete Wasserläufe (Entschädigung der Baggerkosten) bzw. auch in die Entwässerungskanäle (Schneeeinfallschächte) geworfen. Auch sind Versuche mit Schneeschmelzeinrichtungen vorgenommen worden, welche indessen der hohen Kosten und des meist umständlichen Verfahrens wegen wenig aussichtsvoll erscheinen.

D. Wegerecht.

Die auf Anlage und Unterhaltung der Wege und städtischen Straßen bezüglichen, wichtigeren gesetzlichen Bestimmungen sind enthalten:

- im Allgemeinen Landrecht,
- im bürgerlichen Gesetzbuch nebst Einführungsgesetz,
- im Gesetz über die allgemeine Landesverwaltung vom 30. 7. 1883,
- in der Zivilprozessordnung für das Deutsche Reich vom 17. 5. 1898,
- in der Landgemeindeordnung vom 3. 7. 1891,
- in der Kreisordnung,
- im Gesetz betr. die Regelung der Hand- und Spanndienste bei Landstraßenbauten vom 21. 6. 1875,
- in der Grundbuchordnung vom 24. 3. 1897,
- im Kommunalabgabengesetz vom 14. 7. 1893,
- in der Städteordnung,
- in den Baupolizeiverordnungen und
- in den die Bebauung von Straßen betreffenden Ortsstatuten.

Ferner kommen besonders bezüglich der Wegebaulast in den einzelnen Provinzen oder Landesteilen noch zahlreiche meist ältere Provinzialrechte sowie die gemäß § 120 der Provinzialordnung seitens der Provinzial-Landtage aufgestellten Wegeordnungen für die einzelnen Provinzen in Betracht. Näheres hierüber s. Germershausen, das Preussische Wegerecht I. 2. Auflage § 12—27.

Für die Aufstellung der Entwürfe sind maßgebend:

1. In **Preußen**: Die Zirkularverfügung des Handelsministeriums vom 17. Mai 1871, betreffend die Aufstellung von Entwürfen und Kostenanschlägen für den Bau von Kunststraßen.

2. In **Bayern**: Die Ministerialentschließung vom 26. März 1874 Nr. 3724 betr. Behandlung der Entwürfe für Staatsstraßen, Brücken, Durchlässe usw.

3. In **Baden**: Die Verordnung vom 30. Juli 1864 (Verordnungsblatt von 1864 S. 15).

Auszug

aus der unter 1. genannten Bestimmung.

I. Aufstellung des Entwurfes.

Uebersichtskarten im Maßstabe 1:20000 bis 1:200000.

Lagepläne zur Darstellung des Entwurfes im Maßstabe 1:5000. Enteignungskarten im Flurkartenmaßstabe, bei schwierigen Stellen im Maßstab 1:625, 1:1000 und 1:1250.

Die Chausseelinien sind in Stationen von 100 m Länge zu teilen.

Bei je 50 m ist ein Zwischenpunkt einzuschalten. Jede 10. Station ist durch eine römische Ziffer als Hauptstation hervorzuheben.

Im Längsprofil werden die Längen im Maßstab des Lageplans (gewöhnlich 1:5000) aufgetragen, die Höhen in einem 25-fach größeren (gewöhnlich 1:200).

Die höchsten und niedrigsten Wasserstände der die projektierte Straßenlinie berührenden Gewässer sind einzuzichnen.

Querprofile müssen rechtwinklig zur Mittellinie des Straßenplanums aufgenommen (u. zw. bei allen erheblichen Aenderungen der Erdoberfläche) und im

Mafsstab 1:200 aufgezeichnet werden. Die Normalprofile für die Steinbahn, Quer-
gefälle, Böschungen usw. dagegen im Mafsstab 1:100.

Entwürfe von Kunstbauten sind bis 50 m lichter Weite des Bauwerkes
im Mafsstab 1:100 zu zeichnen, die Einzelheiten im Mafsstab 1:50, 1:25 oder 1:10,
je nachdem dies die deutliche Darstellung erfordert. Bei Plänen von Dienstgebäuden,
Futtermauern genügt 1:100.

In den Entwürfen von Brücken über 5,0 m Länge sind die Ergebnisse etwaiger
Bodenuntersuchungen und die Wasserstände einzuzeichnen.

Mafsstäbe (und eine Standlinie in den Karten) sind allen Plänen beizugeben.
In sämtlichen Zeichnungen sind die wichtigsten Abmessungen einzutragen.

II. Lage und Gefälle des Strafsenzuges.

Lage der Strafe. Die Strafsen sind dem Gelände tunlichst sich anschließend
und auf trockenem Untergrund zu legen, so daß starke Krümmungen vermieden werden.
Sind letztere nicht zu umgehen, so ist bei einem mittleren Halbmesser von 75 m
und weniger auf eine angemessene Verbreiterung der Strafe bzw. der Steinbahn
Bedacht zu nehmen.

Gefälle. Hohe Auf- und Abträge sind tunlichst zu vermeiden, übermäßige
Steigungen sollen ohne dringende Notwendigkeit nicht vorkommen. Dabei ist ein
häufiger Wechsel des Steigens und Fallens zu vermeiden und bei Ueberschreitung von
Bergen und Wasserscheiden die Verteilung des Gefälles in der Art anzustreben, daß,
bevor die größte Höhe erreicht ist, die einmal gewonnene Höhe ohne besondere
Umstände nicht aufgegeben wird.

Als größte Steigungen gelten in der Regel:

a) in gebirgigen Gegenden 5 vH, b) im Hügellande 4 vH, c) im Flachlande 2,5 vH.
Das Gefälle ist nur nach ganzen Millimetern für 1 m Länge zu wählen.

Bei anhaltenden Steigungen von größerer Gesamthöhe als von 30 m, und
wenn eine stärkere Steigung als von 4 vH angewendet wird, ist auf jede folgende
Höhe von 30 m die Steigung um je $\frac{1}{2}$ vH zu vermindern, bis dieselbe 4 vH er-
reicht hat.

Ruheplätze. Können die Steigungen von mehr als 4 vH auf längeren Strecken
nicht vermieden werden, so sind in Entfernungen von 600 bis 800 m Ruheplätze von
wenigstens 30 m Länge, denen höchstens eine Steigung von 1 vH gegeben werden
darf, anzulegen.

Wagerechte Strafsen sind nur dann zulässig, wenn die Strafe eine freie
Lage hat und eine besonders gute Entwässerung stattfindet.

Die Strafsenkronen ist wenigstens 0,6 m über den bekannten höchsten Wasserstand,
der die Strafsen erreicht, zu legen.

III. Anlage der Strafe.

Breite der Strafe. Die Breite des Planums richtet sich im allgemeinen
nach dem Verkehr und der hierdurch bedingten Breite der Steinbahn, zugleich aber
auch nach dem Erfordernis eines Sommerweges.

In der Regel ist dem Planum nicht über 12 m und nicht unter 9 m Breite zu
geben. Hinsichtlich der Verbreiterung in Krümmungen s. o.

Gräben. Liegt das Planum nicht mindestens 0,6 m über dem Gelände, oder
ist es ganz oder teilweise in das Gelände eingeschnitten, so ist auf beiden Seiten,
bzw. auf der einen Seite ein Graben anzulegen. Außerdem sind überall da, wo
durch die Anlage der Strafe der natürliche Abfluß des Wassers behindert oder ein-
geengt wird, Vorflutgräben anzulegen.*

Die Abmessungen der Gräben richten sich nach der abzuführenden Wassermenge
und nach ihrem Gefälle.

Die Grabenböschungen sind in der Regel $1\frac{1}{2}$ -fach anzulegen, eine einfache
Anlage ist nur ausnahmsweise in genügend begründeten Fällen zulässig.

Gepflasterte Rinnen. In gebirgigem Gelände und bei seitlichem tiefen
Einschnitt ist es zulässig, anstatt des Grabens eine gepflasterte Rinne von 1 bis 1,5 m
Breite anzulegen. Hierbei ist es geboten, das Wasser häufig seitwärts unter die
Strafe hindurch abzuführen.

Die Breite des Schutzstreifens längs des äußeren Grabenrandes oder am
Fuße von Dammschüttungen beträgt bei mittlerem und schlechtem Land 0,6 m, bei
gutem Land 0,5 m.

*) Statt der Gräben werden schmale mit Schotter gefüllte Rigolen empfohlen in
Zeitschrift für Transportwesen 1891.

Böschungen. Alle Aufträge in reinem Sandboden, sofern die Böschungen nicht mit guter Erde bedeckt werden, erhalten eine 2-fache, in anderen Bodenarten eine $1\frac{1}{2}$ -fache Anlage. Den Abträgen ist nach Beschaffenheit des Bodens oder Felsens eine etwas steilere Anlage zu geben, doch darf nur in besonders festen Felsarten unter $\frac{1}{2}$ -fache Anlage herabgegangen werden. In niedrigen Einschnitten sind dagegen zur Verhütung von Schneeeverwehungen die Böschungen abzufachen.

Straßendämme über moorigem oder nachgiebigem Grunde sind mit breiten Banketts, die bis zum höchsten Wasserstand reichen, herzustellen. Ist die Straße Hochwasserfluten oder dem Wellenschlag ausgesetzt, so ist auf geeignete Befestigungen oder flache Böschungen Bedacht zu nehmen.

Das Quergefälle der Steinbahn richtet sich zum Teil nach dem Längsprofil der Straße, so daß bei starkem Gefälle ein geringeres Quergefälle angewendet wird, außerdem wird das Quergefälle durch die Härte des Schotters bedingt.

Nach erfolgter Befestigung muß die Steindecke bei festem Material ein Quergefälle von 3 bis 5 cm, bei mäßig festem von 5 bis 6 cm für 1 m der halben Breite der Steinbahn aufweisen.

Der Sommerweg und die Bankette erhalten ein Quergefälle von 3 bis 5 cm für 1 m Breite.

Die Steinbahnen werden den örtlichen Verhältnissen entsprechend verschieden hergestellt, u. zw.:

- a) aus einer Packlage mit Steinschlagdecke;
- b) aus einem Unterbau von Grobschlag mit Steinschlagdecke;
- c) aus Kies (Grund);
- d) aus Kiesunterbau mit Steinschlagdecke;
- e) aus einem Unterbau von Eisenschlacken oder Rasenerz mit Steinschlagdecke;
- f) aus Pflaster von natürlichen Steinen;
- g) aus hartgebrannten Ziegeln, sogen. Klinkern.

Die Größe der Steinstücke zur Packlage richtet sich nach der Stärke dieser Lage, diejenige zu der etwa erforderlichen Mittellage dagegen nach der Beschaffenheit des Gesteins. Die Steinstärke zur Decklage darf bei festem Gestein nicht über 3 bis 4 cm und bei weniger festem nicht über 4 bis 5 cm betragen.

Die Klinkerbahnen erhalten wie das Pflaster eine Unterbettung von Kies oder reinem Sande, für erstere von 20 bis 45 cm, für letztere von 15 bis 20 cm Stärke. Nach Fertigstellung ist auf erstere eine 13 cm starke reine Sandschicht, auf letztere und zum Einfügen eine 4 cm starke Pflastersandschicht aufzubringen.

Der Sommerweg ist in der Regel mit Kies in mehreren Lagen von zusammen 8 cm Stärke zu befestigen. Die Befestigung des Banketts richtet sich nach der Beschaffenheit des Bodens.

IV. Durchlässe, Baumpflanzungen und Sicherheitsanlagen.

Durchlässe unter der Straße dürfen nicht weniger als 0,5 m lichte Weite und Höhe erhalten. Werden Rohre eingelegt, so darf der innere Durchmesser nicht unter 0,25 m betragen, auch muß der Rohrstrang in gerader Linie liegen. Seitendurchlässe müssen solche Abmessungen erhalten, wie sie der Wasserabfluß und eine gute Räumung erfordern.

Bei Baumpflanzungen ist die Entfernung der Bäume voneinander stets nach ganzen Metern zu bemessen. Die zu pflanzenden Bäume müssen wenigstens 5 cm im Durchmesser und 2,5 m Stammhöhe haben.

Geländerpfosten sind in der Regel auf 4,0 m Entfernung zu setzen. Die darauf befestigten Holme müssen mit ihrer Oberfläche wenigstens 1,0 m über der Straßenkante liegen.

Werden Schutzsteine angewendet, so sind sie nach Erfordernis in Entfernungen von 1,5 m, höchstens von 2 m und so zu setzen, daß sie wenigstens 0,75 m über die Planumkante hervorragen.

Die Veranschlagung von Erdarbeiten in ebenem Gelände, auf dem die Herstellung des Straßenplanums weder nennenswerte Auf- noch Abträge nötig macht, kann nach laufenden Metern erfolgen, wenn die jedesmalige Planumbreite und das Querprofil der Seitengräben angegeben wird. In anderen Fällen ist nach den Längen und Querprofilen eine Massenberechnung nebst Dispositionstafel zu fertigen. Zum Titel Erdarbeiten gehören auch die Kosten für etwaige Dränierungen und für die Unterhaltung der Böschungen bis zum Anbau der Steinbahn.

ZWÖLFTER ABSCHNITT.

STÄDTEBAU.*)

A. Die Aufgaben des Städtebaues.

Die Stadtanlagen sollen unter Verwertung der Errungenschaften der jeweiligen Zeit den vollkommensten und schönsten Ausdruck für die menschliche Neigung gemeinsamen Wohnens bilden.

Es ist das voraussichtliche Bedürfnis der nächsten etwa 25 bis 50 Jahre und die hiernach erforderliche Fläche zu berücksichtigen.

Die Eignung des Bodens für die Errichtung von Bauten, die Art der Bebauung, Baublockgestaltung und -bemessung sowie die Höhenbegrenzung der Gebäude muß unter Unterscheidung der engeren städtischen und der weiteren ländlichen Bauweise festgestellt werden.

Alle städtebaulichen Anlagen müssen baukünstlerisch unter Berücksichtigung des Gesamteindrucks durchgebildet werden.

Die **Kosten** der Wohnungen müssen im richtigen Verhältnis zum Einkommen der für dieselben bestimmten Bevölkerungsklassen stehen. Dieses wird namentlich erreicht durch Einschränkung der Bodenausnutzung unter gleichzeitiger Regelung der Bebauungsweise. — Anlage von Wohnkolonien, Gartenvorstädten und Gartenstädten. —

Hygienische Aufgaben: Rücksicht auf Reinhaltung des Bodens, der Luft und des Wassers, auf ausreichende Belichtung und Besonnung, Vermeidung der Anlage zugiger Straßen, Errichtung nur mäfsig hoher Häuser, Schaffung von luftverbessernden Rasen- und Wiesenflächen, Park- und gärtnerischen Anlagen, dsgl. von Badegelegenheiten, Bekämpfung der Rauchplage und des übermäfsigen Lärms in den Städten, z. B. durch Anlegung der Industrie- und Fabrikviertel in den der

*) Die Abbildungen sind z. T. entnommen aus: Stübßen, J., Der Städtebau. Handb. d. Arch., 2. Aufl., 9. Halbbd. Stuttgart 1907. — Brix, J., Die ober- u. unterirdische Ausgestaltung d. städt. Straßenquerschnitte. Städtebauliche Vorträge a. d. Seminar f. Städtebau, herausgeg. von Brix u. Genzmer, Berlin 1908. Bd. I, Heft 1. (Im folgenden St. V. abgekürzt). — Ders., Kanalisation u. Städtebau. St. V. 1910. III. 1. — Genzmer, F., Die Gestaltung d. Straßen- u. Platzraumes. St. V. 1909. II. 1. — Baumeister, R., Bauordn. u. Wohnungsfrage. St. V. 1911. IV. 3. Ferner wird außer den im Texte enthaltenen Literaturangaben u. a. noch verwiesen auf: Baumeister, R., Straßenerweiterungen. Berlin 1876. — Heurich, Beiträge zur prakt. Aesthetik im Städtebau. 1894. — Friedrichs, R., Kommentar z. preuss. Fluchtliniengesetz v. 2. VII. 75. 6. Aufl. Berlin 1905. — Grundsätze d. Städtebaues, Verl. D. B., Berlin 1907. — Brinkmann, A. L., Platz u. Monument. Berlin 1908. — Scholtz-Naumburg, Kulturarbeiten, insbes. Bd. 2 Gärten, Bd. 3 Dörfer u. Kolonien und Bd. 4 Städtebau. herausgeg. vom Kunstwart, München 1909. — Eberstadt, R., Handb. d. Wohnungswes. u. d. Wohnungsfrage. 2. Aufl., Jena 1910. — Unwin, R., Grundlagen des Städtebaues, Berlin 1910. — Zeitschr. „Der Städtebau“, begr. von Th. Goecke u. Camillo Sitte. — St. V. a. d. Seminar f. Städtebau, herausgeg. von J. Brix u. F. Genzmer.

herrschenden Windrichtung abgekehrten Gebieten und durch örtliche Zusammenfassung der gewerblichen, mit Lärm verbundenen Betriebe u. a. m.

Bau- und verkehrstechnische Aufgaben s. unter B.

An **Gesetzen und Vorschriften** sind zu beachten: das Enteignungsrecht, die Fluchtliniengesetze (vgl. preussisches Fluchtliniengesetz vom Juli 1875) und die Bauordnungen. Außerdem Gesetze gegen die Verunstaltung von Stadt und Land, zur Erhaltung von Natur- und Baudenkmalern und behufs Bildung von Zweckverbänden.

Den Erfordernissen des **Verkehrs** ist durch gute Straßensverbindungen, Straßensbahnen, Hoch- und Untergrundbahnen, Eisenbahnen und Schiffsfahrwege nachzukommen. Stets ist ein systematisch durchgebildetes Verkehrsnetz aufzustellen, das sich über das ganze Gelände erstreckt und alle bestehenden und neu anzulegenden Stadtteile oder benachbarte Gemeinwesen miteinander in gute Verbindung bringt.

Ueber **Entwässerung** der Orte s. unter B S. 689. Anlagen zur Klärung oder Beseitigung der Abwässer sind von den Wohngebäuden entfernt anzuordnen.

Eine der wichtigsten Vorfagen betrifft die **Wasserversorgung**.

Verfügbare große Wassermengen können, abgesehen von ihrem hygienischen Wert, als belebendes Element künstlerischer Anlagen dienen. Näheres R. Borrmann, Monumentale Wasseranlagen usw. Städtebauliche Vorträge 1909.

Beim **Straßenbau** ist darauf zu achten, daß den Straßen die dem zu erwartenden Verkehr zweckentsprechenden Breiten und die den Zwecken der Straße entsprechenden Befestigungsarten gegeben werden.

B. Stadt- und Ortsbaupläne.

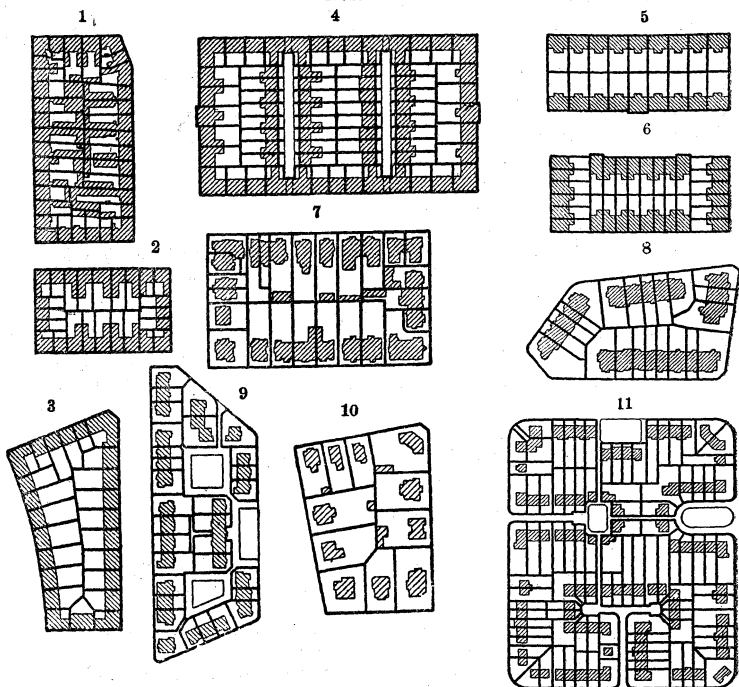
1. Bebauungsarten.

Folgende Bebauungsarten müssen unterschieden werden:

1. Geschlossene Bebauung (Abb. 1)
 - a) mit Hinterflügeln und Hinterhäusern bei nicht zusammenhängenden Hofflächen, aus hygienischen Gründen zu vermeiden;
 - b) mit Flügelbauten unter Erhaltung einer unbebauten Fläche mit einheitlichem Luftraum (Abb. 2);
 - c) ohne Hintergebäude, erstrebenswerter Zustand (Abb. 3);
 - d) mit verbesserten Wohnhöfen (Abb. 4).
2. Halboffene Bauweise
 - a) mit offenen Querseiten (Abb. 5);
 - b) mit bebauten Querseiten nach englischem Typus (Abb. 6).
3. Offene Bauweise
 - a) mit Bauwuch (Abb. 7), nicht empfehlenswert — Verzettlung der unbebauten Flächen, Bildung von Zugluft, vermehrte Baukosten ohne hygienischen Mehrwert gegenüber halboffener Bebauung;
 - b) mit Gruppenbau (Abb. 8);
 - c) mit Innenplätzen — Riedli-Quartier Zürich (Abb. 9);
 - d) mit Einzelhäusern in größeren Abständen (landhausmäßige Bauweise) (Abb. 10);

- e) Verbindung offener und halboffener Bauweise mit Innenplätzen und Verbindungsstraßen nach Vorbildern der englischen Gartenstädte (Abb. 11).

Abb. 1 bis 11.



2. Maße der Baublöcke und sonstige Angaben.

Empfehlenswerte und zulässige Maße der Baublöcke: Baublöcke für Miet- und Geschäftshäuser 60 bis 80 m Tiefe, 120 bis 160 m Länge; für Familienhäuser geschlossen oder halboffen mit Hintergärtchen 80 m Breite, 120 bis 200 m Länge; Baublöcke mit ganz offener Bauweise (Landhausviertel) Tiefe 80 bis 120 m, Breite 150 bis 200 m, in besonderen Fällen 250 m; Baublöcke in Industrievierteln Tiefe 100 bis 200 m, Länge 200 bis 300 m.

In der Regel sind auf je 10 000 Einwohner je eine Volksschule für Knaben und Mädchen, eine Mittelschule oder eine höhere Töchterschule; auf je 20 000 Einwohner ein Gymnasium, eine Realschule, eine Oberrealschule, eine Töchterschule; bis zu 50 000 Einwohner ein

Krankenhaus und auf je 15 000 bis 20 000 Einwohnern eine Kirche vorzusehen.

Die Bevölkerungszahl (Wohndichte) auf 1 ha Baugebiet einschl. der Straßenfläche ist bei sehr dichter Bebauung mit hohen Häusern in älteren Stadtgebieten in der Regel 600 bis 1000 und in neueren dichter bebauten Stadtgebieten rund 400, bei geschlossener, aber weiträumiger Bebauung rund 250, bei halboffener Bauweise (Reihenbau) mit höchstens 2 Obergeschossen 150 bis 200, bei offener landhausmäßiger Bauweise 80 bis 120, durchschnittlich 100.

3. Die städtischen Straßen.

a) Allgemeines.

Die Hauptstraßenzüge sind von dem Stadtkern aus möglichst in radialer Richtung unter Berücksichtigung der Verkehrserfordernisse zu führen.

Eine Grundbedingung ist die Entwässerungsmöglichkeit, namentlich eine gute Führung der Hauptentwässerungskanäle. Es empfiehlt sich im Hinblick hierauf, Straßenzüge längs der Bäche, Flutgräben und unter Verbindung der Terrainmulden anzulegen. Vielfach werden solche Straßen mit Grünflächen verbunden. Die Straßen sind in der Regel 0,5 m über dem höchsten Hochwasserstande anzulegen.

Zwischen den einzelnen Hauptstraßen erfolgt die Anlage von Nebenstraßen, wobei von vornherein eine klare Scheidung zwischen Verkehrs- und Wohnstraßen stattzufinden hat.

Bei der Anlage von Straßennetzen kommen die rechteckige, die drei- und vieleckige, die diagonale, die radiale oder strahlenförmige und die ringförmige Anordnung der Straßen in Betracht.

Für die Bebauung ist die Rechteckform der Baublöcke oder doch deren rechtwinklige Abkantung am vorteilhaftesten; der Verkehr verlangt aber möglichst kurze Wege, weshalb die Hauptverkehrsstraßen von den Stadtkernen aus meist strahlenförmig angelegt werden, während für sonstige wichtigere Verkehrsverbindungen diagonale, in geeigneten Fällen auch wohl ringförmige Anordnungen bevorzugt werden.

Für die Schaffung von Einblicken nach Straßen und Plätzen mit Gebäudeabschlüssen, nach Denkmälern usw., nach Naturdenkmälern und Landschaftsbildern (Panoramastraße) ist Sorge zu tragen. Namentlich bei Straßendurchbrüchen und Straßenerweiterungen ist hierauf Rücksicht zu nehmen. Hierbei empfiehlt sich im Hinblick auf Schonung erhaltungswürdiger Gebäude und Wirtschaftlichkeit die gebrochene oder gekrümmte Linienführung; selbst Versetzungen, sowie zum Teil lediglich einseitige Verbreiterungen an der Seite der größeren Grundstückstiefen erweisen sich oft zweckmäßig.

b) Richtungs- und Steigungsverhältnisse.

Die Richtungsverhältnisse der Hauptstraßen sind im allgemeinen durch die bestehenden Verkehrs- und Geländeverhältnisse bestimmt. Uebermäßig lange gerade Straßen ohne jede Unterbrechung sind zu vermeiden. Der Wechsel von geraden und krummen Straßen ist zu begünstigen. Gerade und schwach gekrümmte Linien sind für Hauptverkehrs-

straßen und für geschlossene Bauweise von Vorteil. Die Hauptverkehrsstraßen sollten, wenn in ihrem Gebiete zu irgend einer Zeit eine Schnellbahn in Frage kommt, keine stärkeren Krümmungen als 200 m Radius, und sonstige Hauptstraßen Krümmungsradien von in der Regel nicht unter 100 m erhalten. Konvexe Richtungs- und Steigungslinien sind zugunsten der konkaven zu vermeiden. Reine Nord-Süd- und Ost-West-Richtung ist auszuschließen; in unvermeidlichen Fällen sollte die Längsseite der Baublöcke in der Nord-Süd-Linie liegen. Auch sollte die Straße nicht in der herrschenden Windrichtung verlaufen. Andernfalls empfehlen sich Verschiebungen der Straßennachsen, um lästige durchgehende Windströmungen aufzuhalten. Ueber die meteorologischen Grundlagen des Städtebaues siehe näheres in Kassner, Die meteorologischen Grundlagen des Städtebaues. Städtebauliche Vorträge, 1909, III. Bd. Heft 6.

Die stärksten Steigungen der Hauptverkehrsstraßen sollten nicht über 2 bis 2,5 vH bei ebenem, nicht über 3 vH bei bewegtem und nicht über 4,5 vH bei bergigem Gelände betragen. Die nicht dem Durchgangsverkehr dienenden Nebenstraßen sowie Wohnstraßen können stärkere Steigungen bis zu etwa 7 vH und bei kurzen Wohnstraßen selbst bis zu 9 und 10 vH erhalten. Bei größeren Höhenunterschieden ist die Anordnung von besonderen Straßenneben- und Treppenanlagen erforderlich, letztere auch bei Verbindung von verschiedenen hochgelegenen Sackgassen mit Wendepplatz. Ueber Zickzackfahrwege für steile Straßen in besonderen Fällen vgl. Z. d. B. 1906 S. 212.

Schroffe Steigungswechsel wirken meist unschön, sie sind durch Richtungsänderungen, Platzanlagen, Torbauten, Straßensversetzungen und Vorsprünge dem Blick zu entziehen, sofern nicht auch durch sie besondere perspektivische oder architektonische Wirkungen erzielt werden sollen. Dem Verkehrsinteresse sind große Gefällswechsel keinesfalls dienlich.

Die Art der Straßeneinfestigung ist außer im Hinblick auf die Verkehrsverhältnisse entsprechend den Steigungsverhältnissen zu wählen. Während z. B. Steinpflaster (kleinere Steinbreiten bei größeren Steigungen) bei allen genannten Steigungen anwendbar ist, können Asphaltbahnen in der Regel nur bei Steigungen von 1,66 vH bei schwachem und bis 1,4 vH bei starkem Verkehr, zwischen Straßeneisenbahngleisen bis zu 1 vH, angewandt werden; Holzpflaster ist bis zu 3 vH, bei sorgfältiger Streuung mit geeignetem Steinsplitt auch bis zu 5 vH anwendbar.

c) Straßenbreiten und Querprofile.

1. Das Quergefälle der Fahrbahn städtischer Straßen ist von der mehr oder minder großen Ebenheit, von der geringeren oder größeren Rauigkeit des Flächenelements und von der geringeren oder größeren Neigung zur Wasseraufsaugung abhängig. Je geringer ein Quergefälle gewählt werden kann, desto günstiger ist dies für den Verkehr.

Gebräuchliche Querneigungen sind folgende:

für Chaussierung	3	bis 5 vH
„ Steinpflaster	1 1/2	„ 4 „
„ Holzpflaster	2	„ 3 „
„ Asphaltierung	3/4	„ 2 „

Die Bürgersteige erhalten Quergefälle von 2 bis 4 ‰.

Die Höhe der Bordsteine über der Pflasterrinne beträgt in der Regel 10 bis 15 cm und kann behufs Erzeugung besserer Rinnengefälle in sehr flachgeneigten Straßen zwischen 5 und 22 cm wechseln. Das Rinnenlängsgefälle sollte nicht unter 1:250 bis 1:200 betragen. Nur ausnahmsweise kann bis zu 1:400 gegangen werden. Das Rinnenquergefälle beträgt bei einer Breite des Rinnenstreifens von etwa 0,75 m 6 bis 12 ‰.

2. Die Fahrbahnbreiten der Stadtstraßen sind bedingt durch den Fuhrwerksverkehr. Die Anfangsmasse sind hierbei zweckmäßig zu 5 bis 6 m anzunehmen; sie wachsen in größeren Städten durch Hinzufügung von je 2,5 m für jede weitere zu berücksichtigende Fuhrwerksreihe bis zu 20 und 21 m Einzelbreite bei ein- oder mehrteiligen, je nach Umständen symmetrisch oder unsymmetrisch anzuordnenden Fahrbahnen. Die zuletzt genannten Fahrbahnausmaße reichen auch bei eingebauten Bahngleisen für den größten Großstadtverkehr aus.

Die Unterbringung aller Leitungen unter den Bürgersteigen ist anzustreben und dabei nach Möglichkeit, namentlich bei neuen Straßen, der Grundsatz durchzuführen, daß die tiefsten Leitungen zunächst den Häusern zu liegen kommen. In Großstädten mit besonders großer Leitungszahl empfiehlt sich bei sehr verkehrs-

reichen Bürgersteigen, deren durchlaufende Unterkellerung zum Zweck der jederzeit zugänglichen Unterbringung der Versorgungsleitungen. Vrgl. hierzu die in Abb. 12 skizzierte Berliner Normalie für die Unterbringung der Versorgungsleitungen unter Bürgersteigen von 3 m Breite. Hierbei liegen die Entwässerungsleitungen noch unter dem Fahrdamm; sollen auch diese unter dem Bürgersteig liegen, so ist in Berlin wegen der zahlreichen

Abb. 12.

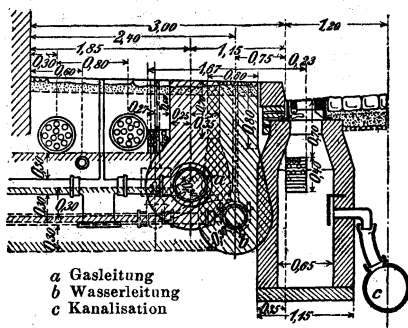
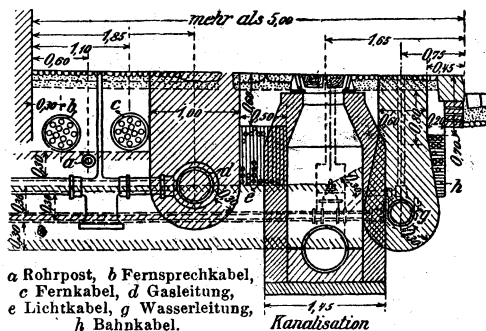


Abb. 13.



Entwässerungsleitungen noch unter dem Fahrdamm; sollen auch diese unter dem Bürgersteig liegen, so ist in Berlin wegen der zahlreichen

Leitungssysteme eine Bürgersteigbreite von mindestens 5 m erforderlich (Abb. 13).

Die Fahrbahnbreiten von billigeren Wohnstraßen können bis auf 4,5 m verringert werden, die Bürgersteigbreite bis auf 1,5 m. In besonders sparsam anzulegenden Wohnstraßen, welche lediglich als Zugangswege mit geringem Fuhrverkehr für die Hausbedürfnisse dienen, kann eine einheitliche Bahn für Fuhr- und Personenverkehr angeordnet werden.

Hervorragende städtische Straßen haben Breiten zwischen 40 bis 60 m und mehr. Z. B.

die Linden in Berlin	58 m
„ Ringstraße in Wien	57 „
„ Ludwigstraße in München.	38 „
„ Bülow-, Kleist- u. Tauentzienstraße in Berlin	44 „

Die Anlage von Mittelwegen ist erst bei Straßen von etwa 30 m möglich. Bürgersteige mit Einzelbaumreihen sollten nicht unter 6 bis 7 m Breite angelegt werden.

3. Die Bürgersteigbreiten in den Städten sind meist weniger vom Personenverkehr als von der Rücksichtnahme auf die Unterbringung der unterirdischen Leitungen oder auf die Anlage von Pflanzungen und Grünstreifen abhängig.

4. In Geschäftsstraßen mittlerer oder größerer Städte, namentlich in Straßen, welche erst später größeren Verkehr zu erwarten haben, sind, wo immer möglich, die Bürgersteige besonders breit zu halten

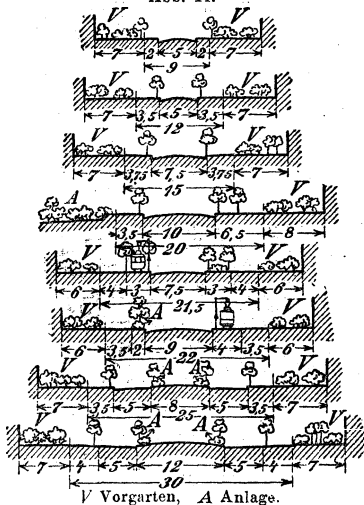
und mit Pflanzungsstreifen auszustatten, welche erforderlichenfalls später ganz oder teilweise zur Verbreiterung der Fahrbahn herangezogen werden können.

5. Für den Abstand der Hausbaufluchten voneinander ist in erster Linie die Forderung auf ausreichende Belichtung der Wohnräume maßgebend, und demgemäß sollten die Baufluchten mindestens um das Maß der mittleren Gebäudehöhe voneinander entfernt sein.

6. Wo sich bei Neuanlagen die für den Gebäudeabstand nötige Gesamtbreite, also Fahrbahnbreite und Bürgersteigbreite zusammengenommen, zu gering ergeben würde, ist der Gebäudeabstand durch Einschaltung von Vorgärten oder durch Verbreiterung der Bürgersteige unter Schaffung von Rasen- und Gartenstreifen zu vergrößern.

7. Die Vorgartenbreiten sind im Hinblick auf den Zweck der Vorgärten, nämlich Dämpfung von Bodenerschütterungen durch den Straßenverkehr, Milderung des Straßen-

Abb. 14.



lärms, Abhaltung des Straßensaubes von den Wohnungen und Schaffung eines das Auge erfreuenden und die Luft verbessernden Pflanzenwuchses festzusetzen, wobei abgesehen von Rücksprüngen zur Schaffung von kleinen Vorplätzen und aus architektonischen Rücksichten, 5 m als Mindestbreite bei Neuanlagen anzuwenden sind.

Abb. 15.

8. Mittelpromenaden und gärtnerische Anlagen in großen Verkehrsstraßen sind namentlich als Verbindungen von Parkanlagen zu begünstigen; auch

Baumpflanzen
sind bei ausreichend
breiten Bürgersteigen,
jedoch mit Maß und
Ziel und namentlich
bei sehr sonnig ge-
legenen Straßen und
Bürgersteigen zu
empfehlen.

Abb. 14 gibt Beispiele von Straßensquerprofilen mit Vorgärten,

Abb. 15 Straßens-
querprofil mit Mittel-
promenade und einer
Uferstraße mit
großen Vorgärten,

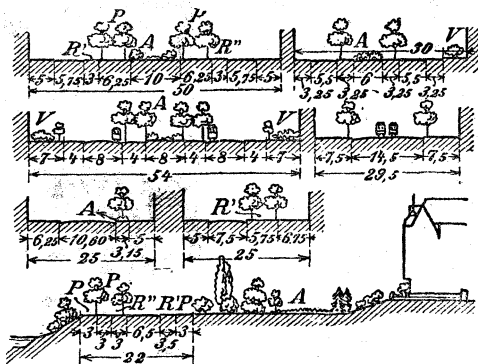
9. In den Großstädten ist in den wichtigsten und belebtesten Hauptstraßenzügen die Einteilung derselben in besondere, ober- und unterirdische Benutzungstreifen zweckmäßig. Ein Beispiel der unterirdischen Ausbildung einer Großstadtstraße gibt Abb. 16 (London, Kingsway).

Der Schnellfahr- und Durchgangsverkehr sollte tunlichst auf eine eigene mittlere, symmetrisch oder unsymmetrisch liegende Fahrbahn, geeignetenfalls unter Bildung eines besonderen Automobilbenutzungsstreifens, verwiesen werden, während die Seitenstraßen dem Lokal- und Lastverkehr zu dienen haben. Ein besonderer Benutzungsstreifen für die Straßenbahn, welcher als Rasenfläche ausgebildet und an den Seiten einer weitergehenden gärtnerischen Behandlung unterzogen werden kann, ist empfehlenswert.

d) Nebenanlagen.

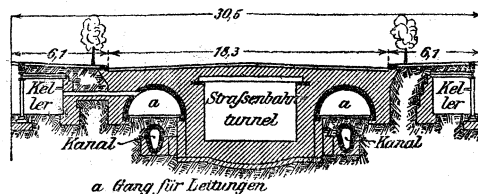
Abort- und Pissoirhäuschen mit Wasserspülung sollten an allen verkehrsreichen Punkten und in nicht zu weiten Entfernungen voneinander errichtet werden. In größeren Städten werden sie neuerdings

Abb. 15.



A Anlage, *P* Promenade, *R'* u. *R''* Reitweg, *V* Vorgarten.

Abb. 16.



a. Gang für Leitungen

unterirdisch angelegt, u. a. in Berlin, Charlottenburg, Dresden, Düsseldorf, London und Zürich.

Laternenpfähle und Leitungsmasten sind 0,60 bis 0,75 m von der Bordsteinkante entfernt aufzustellen.

Die Höhe der elektrischen Leitungen über der Straßenoberfläche soll rd. 6 m betragen, ausnahmsweise mehr (bei Straßenunterführungen nur 4 bis 4,50 m).

Öffentliche Trinkwasserbrunnen und Hydranten. Erstere dienen hauptsächlich zum Tränken der Pferde und finden daher zweckmäßig in der Nähe von Droschkenhalteplätzen, Bahnhöfen usw. auf den Bürgersteigen Aufstellung. Letztere sind sowohl für die Straßenreinigung (zum Füllen der Sprengwagen) als besonders für die Feuerwehr sowie zum Besprengen der Marktplätze und Schmuckplätze erforderlich und werden gleichfalls in die Bürgersteige eingebaut.

Ferner sind Feuermelder, Anschlagssäulen, Kioske für Zeitungsverkauf usw. und Schmutzkästen ebenfalls auf den Bürgersteigen oder Inseln unterzubringen, und zwar die ersteren zweckmäßig an den Straßenschnittpunkten, letztere in der Mitte der einzelnen Straßensektoren.

Baumpflanzungen. Die Entfernung der Bäume von der Bordsteinkante ist zu etwa 0,75 m und von Baum zu Baum etwa zu 7 bis 8 m anzunehmen.

Bei befestigten Fußsteigen sind, um dem Wasser den Zutritt zu den Wurzeln zu ermöglichen, Baumscheiben von 1 bis 1,50 m Dmr. anzulegen. Zum Schutz der Rinde von Beschädigungen sind eiserne Schutzgitter zweckmäßig.

Straßenschilder an den Straßenecken sind bei geschlossener Bauweise und bei schmalen Bürgersteigen an den Eckgebäuden, in allen anderen Fällen dagegen nach Art der Wegweiser auszuführen und auf den Bürgersteigen aufzustellen; Beleuchtungseinrichtung damit zu verbinden, erscheint nach dem Vorgange von Charlottenburg recht zweckmäßig.

e) Straßenverbreiterungen.

Straßenverbreiterungen werden sowohl ein- als zweiseitig hergestellt, entweder aus Verkehrsrücksichten zwecks Schaffung von Wartestellen für Fuhrwerke, Ausweiche- und Wendeplätzen (letztere für Automobile bei 15 m Fahrbahnbreite einschl. 2,5 m freibleibender Vorbeifahrt) oder auch zur Belebung des Straßensbildes durch Anordnung von Grünanlagen oder von Plätzen zur Aufstellung eines Brunnens, eines Denkmals oder einer Baumgruppe usw.

f) Straßenkreuzungen und Straßenmündungen.

Die Versetzung (Achsverschiebung) von zwei Straßenmündungen löst wohl den Knoten der Verkehrslinien in etwas, verringert aber die Verkehrsdichte nur unwesentlich, wenn nicht zwischen den beiden Mündungsstellen eine größere, etwa der Summe aus der mittleren Breite der einmündenden Straßen und der Breite der Hauptstraße entsprechende Breite angeordnet wird (Abb. 17 u. 18). Die Hauptverkehrs-

richtung sollte hierbei keine Ablenkung erfahren; daher ergibt die Versetzung aller 4 Straßeneinmündungen nach Abb. 19, die architektonisch gute Abschlüsse gibt, für Hauptverkehrsstraßen keine zweckmäßige

Straßenkreuzung, sofern nicht in der Hauptverkehrsrichtung ein auf etwa $2\frac{1}{2}$ bis 3 Straßenerweiterungen sich erstreckender Längsplatz geschaffen werden kann (Abb. 20 u. 21). Bei allen Verschiebungen ist die landesübliche Ausweichsitte (in Deutschland geschieht das Ausweichen rechts, das Überholen links) zu beachten, weshalb in deutschen Städten die Verschiebung zweckmäßiger nach rechts erfolgt (Abb. 17 bis 22).

Die Verringerung der Verkehrsdichte wird bei Straßenkreuzungen zweckmäßig durch Abstumpfung oder Abkantung der Baublockecken oder Verbreiterung der kreuzenden Straßen durch Zurücktreten der Fluchten erzielt. Bei spitzwinklig einmündenden Straßen sind größere Abstumpfungen unter Anordnung von Inseln (Abb. 33), noch besser Ausklinkungen oder Bogenführung unterm rechten Winkel, wodurch platzartige Erweiterungen entstehen, anzuwenden (Abb. 23 u. 24). Die Bürgersteigkanten sind um die Ecken in möglichst schlanken und in der Regel parallel zu den Hinterfronten verlaufenden Linien auszuführen. Verschiedene sonstige Grundformen von Straßenkreuzungen und -mündungen zeigen Abb. 25 bis 32.

Bei Kreuzungen sehr verkehrsreicher Straßen in Großstädten sind in den Straßenecken außerhalb der Kreuzungsflächen etwas zurück-

Abb. 17 bis 32.

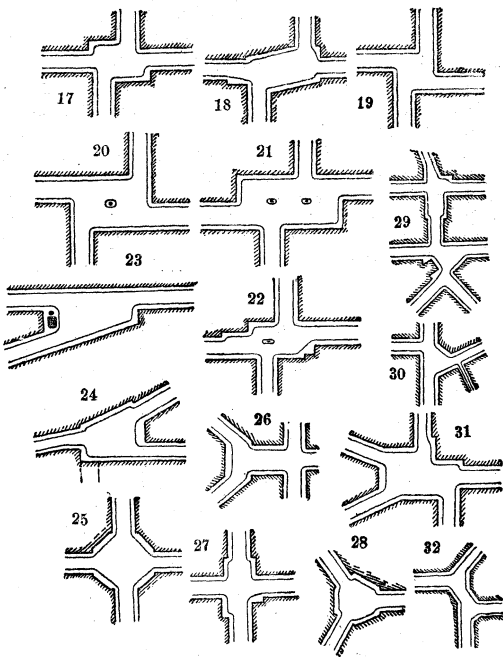
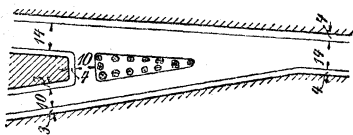


Abb. 33.



liegende, schmale, erhöhte Standplätzchen für Fußgänger, sogen. Rettungsinseln von etwa 1 bis 1,5 m Breite und 2 bis 4 m Länge anzuordnen.

4. Die Plätze.

a) Allgemeines.

Die Plätze sollen zur besseren Licht- und Luftzufuhr eines Ortes beitragen, Abwechslung in das Städtebild bringen und gute künstlerische Wirkungen erzielen. Angemessene Gröfse und Gestalt in Beziehung zu den umgebenden Bauwerken, Wahrung der rechtwinkligen Gebäudeecken, richtige Stellung der Denkmäler, Brunnen und sonstiger Bauwerke, geschickte Einfügung von Grünflächen, übersichtliche Führung der Verkehrszüge tunlichst entlang den Platzrändern, und Schließung der Platzbilder, sowie möglichste Freihaltung der Mitte sind die an die Plätze zu stellenden Forderungen.

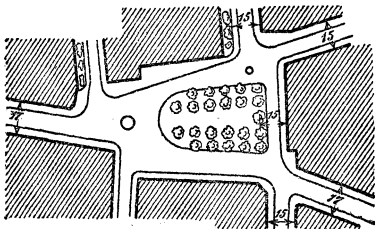
Die Breiten der Plätze bewegen sich in der Regel zwischen der etwa 2- bis $3\frac{1}{2}$ -fachen Breite der einmündenden Hauptstrafse, bei 1- bis 3-fachem Längenverhältnis zur Breite.

b) Verkehrsplätze.

Sie dienen in erster Linie der Verkehrsvermittlung und -verteilung und werden gleichsam durch erweiterte Strafsenkreuzungen gebildet. Es ist zu beachten, daß sich die Verkehrsrichtungen nicht in einem Punkte schneiden, sondern unter Verteilung des Verkehrs auf die verschiedenen Mündungsstellen allmählich ineinander übergehen sollten. Runde Verkehrsplätze, namentlich sogenannte **Sternplätze**, in deren Mittelpunkt die Strafsenlinien zusammentreffen, sollten als verkehrsstörend und wegen der unschön wirkenden, vielfach unterbrochenen Platz-

wandungen nicht angeordnet werden. Eine Ausnahme bilden Fälle, wo eine gröfsere, von Strafsen nicht gekreuzte Innenanlage errichtet werden kann und ein Teil der Strafsen im Bogen einmündet. Allerdings kann auch eine Innenanlage selbst verkehrsstörend empfunden werden. Grofs angelegte derartige Plätze mit bedeutsamen Mittelbauwerken vermögen anderseits wieder eine schöne monumentale

Abb. 34.



Wirkung hervorzubringen. Ein gutes Beispiel eines Verkehrsplatzes an Stelle eines Sternplatzes gibt Abb. 34.

Bahnhofsvorplätze, bei denen der Verkehr nach der Stadt ausstrahlt und von der Stadt her zusammenströmt, erhalten vorteilhaft vom Platzumfange strahlenförmig ausgehende Strafsenzüge.

c) Nutzplätze.

Nutzplätze sind hauptsächlich für Marktzwecke (Marktplätze), sei es für Abhaltung regelmäßiger Wochenmärkte sowie für gröfsere Jahr-

märkte, ferner als Fuhrwerksplätze, sowie behufs Ermöglichung von öffentlichen Versammlungen usw. notwendig. Sie sollen nicht von Hauptverkehrsstraßen, auch nicht von Straßenbahnen gekreuzt werden, aber doch von den Hauptstraßen leicht erreichbar sein und in der Verkehrsmitte des zugehörigen Stadtgebietes liegen. Als Mindestmaß fordert Stübgen 0,1 qm für einen Einwohner.

d) Architekturplätze.

Die in einem Orte zu errichtenden öffentlichen und gemeinnützigen Gebäude werden zweckmäßig entweder am Umfange von einheitlichen Plätzen errichtet, oder größere Flächen werden durch sie in mehrere

Abb. 35.

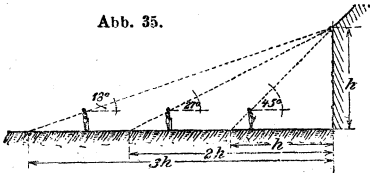


Abb. 36.

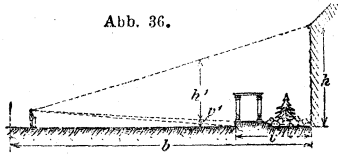
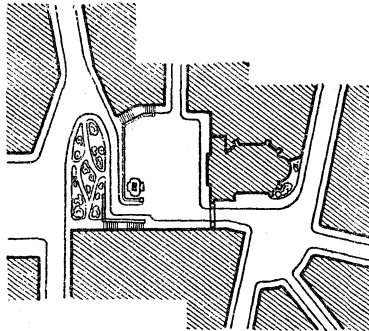


Abb. 37.



Plätze dadurch geteilt, daß ihre Seiten ganz oder teilweise die Wandungen der verschiedenen Plätze bilden. Maertens hat zur zweckmäßigen Feststellung der Platzgrößen Grundsätze aufgestellt und eine Anleitung zur zeichnerischen Bestimmung der Straßen- und Platzbreiten gegeben). In Abb. 35 ist der dem Gebäude nächste Standpunkt des Beschauers mit einem Augenaufschlagwinkel von 45° (d. h. Entfernung = Höhe) der zweckmäßigste zur Einzelbetrachtung, der von 27° (d. h. Entfernung = doppelter Höhe) ist der zweckmäßigste zur Ueberschauung des ganzen Bauwerks, der von 18° (d. h. Entfernung = dreifacher Höhe) ist der zweckmäßigste für das Gesamtbild, den Maertens den „architektonisch-malerischen“ nennt.

Nach Abb. 36 ergeben die auf eine Bildebene übertragenen Sehstrahlen ohne Vorbauten eine zu geringe Gebäudehöhe $= h$, mit Vorbauten eine scheinbare Gebäudehöhe $= h' + v$, und dabei vermindert sich das Platzmaß b um die Breite v . Also aus dem ungünstigen Verhältnis $b:h$ wird durch Vorbauten das wesentlich günstigere $(b-v):(h'+v)$.

Je nach Umständen kann eine Verbindung von Verkehrs- und Architekturplätzen, die Aneinanderfügung von Verkehrs- und Archi-

tekturplätzen oder von Plätzen derselben Gattung zu Doppel- und mehrfachen Plätzen erfolgen (Abb. 37, nach Sitte aus Entwurf Bebauung Marienberg).

e) Grünplätze.

Die Grünplätze können dem Schmucke, der Ruhe, der Erholung, dem Spiel der Kinder und in größerer Ausdehnung Bewegungsspielen Erwachsener und sonstigem Sport dienen. Es sind zu unterscheiden die reinen Zier- und Schmuckplätze, mit mehr regelmässigen Linien, die Erholungsplätze, insbesondere die schon unregelmässigeren Linien zeigenden, mit Bänken ausgestatteten Grünflächen, die etwa noch in Verbindung mit einem kleinen Spielplatz stehen; ferner grössere Grünanlagen, vielfach in Verbindung mit Promenaden, oder endlich Parkanlagen, die etwa 3 bis mehrere 100 ha Grösse haben, und schliesslich in Park- und natürliche Schutzwälder, insbesondere bei den Grossstädten übergehen. Grün- und Parkflächen werden auch vorteilhaft im Inneren und längs der Baublöcke angelegt (English Squares). Wo immer tunlich, sollten die Grünanlagen der Städte durch Radial- oder Ringalleen miteinander verbunden sein. Die Bildung von Wald- und Wiesengürteln sowie von keilförmig nach dem Stadttinneren auslaufenden Grünausschnitten ist anzustreben (Boston, Philadelphia, Wien, Gross-Berlin).

Die Gesamtgrösse der öffentlichen Grünplätze, Wiesen- und Parkanlagen sollte wenigstens 10 vH der Bebauungsfläche betragen. Die grösseren Park- und Grünanlagen sind unter Berücksichtigung von Landschaft und Klima anzulegen. Grosse Spielwiesen sind dabei vorzusehen.

C. Gartenstädte und Wohnkolonien.*)

Man versteht unter Gartenstadt eine planmässig gestaltete Siedlung mit ländlicher Bebauungsart auf wohlfeilem Gelände, das dauernd im Obereigentum der Gemeinschaft erhalten wird, derart, dass Spekulation mit Grund und Boden dauernd unmöglich ist. Die erste englische Gartenstadt ist Lechworth im Norden von London. Aehnliche Unternehmungen in Deutschland sind die Gartenstadt Hellerau bei Dresden, die Wohnkolonie Buchschlag bei Frankfurt.

Gartenstädte sowie überhaupt Aussenansiedlungen sind erst durch die in den letzten Jahrzehnten stattgehabten grossen Fortschritte im Verkehrswesen möglich geworden, insbesondere durch die ausgedehntere Einführung und die Elektrisierung des Strassenbahnbetriebes und durch den billigen Vorortverkehr auf den Eisenbahnen. Erst von da ab konnten, wo immer es bei grösseren Städten angebracht und notwendig erschien, Handelszentrum, Arbeitsstätte und Wohnbezirk voneinander in grössere räumliche Entfernung unter Auswahl der hierfür geeignetsten Orte gebracht werden.

*) Fritsch, „Die Stadt der Zukunft“ 1896. Ebenezer Howard, „Garden cities of the morrow“ 1898, „Gartenstädte in Sicht“, Jena. S. a. Veröffentlichungen der deutschen Gartenstadt-Gesellschaft.

DREIZEHNTER ABSCHNITT.

WASSERVERSORGUNG.

A. Beurteilung des Wassers.*)

1. **Trinkwasser** soll möglichst farblos, klar, gleichmäßig kühl, frei von fremdartigem Geruch und Geschmack sein. Da auch solches Wasser Typhus und Cholera, Brechdurchfall, die Ruhr, die Weylsche Krankheit, tierische Schmarotzer, Milzbrand (bei Tieren) u. a. übertragen kann, sind örtliche Besichtigungen, bakteriologische und chemische Untersuchungen jeweiligen nötig. Von 4 m Tiefe an ist das Wasser nahezu keimfrei. Führt Quell- oder Grundwasser mehr als vereinzelte Bakterien, so ist dies ein Zeichen unzureichender Bodenfilterung, doch kann auch bei einwandfreiem Zufluss im ruhenden Wasser von Behältern u. dgl. eine Vermehrung der Bakterien stattfinden. Kleine Pflanzen und Tiere, Trübung durch Erdteilchen, Luftblasen können andeuten, daß ungenügend gefiltertes Wasser eindringt. Größere Temperaturschwankungen weisen zwar auf erheblichen Zufluss von Oberflächenwasser hin, doch beweist gleichbleibende Temperatur nicht, daß solche Zuflüsse fehlen. Die chemische Zusammensetzung hängt vom durchflossenen Boden ab.

Boden	mg in 1 l **)							Härte
	Rückstand	Organ. Stoffe	N ₂ O ₅	Cl	SO ₃	Ca O	Mg O	
Granit	24	16	o	3	4	10	3	1,3
"	210	5	o	Spur	10	45	21	7
Tonschiefer . .	60	17	o	9	2	3	4	0,8
"	180	21	Spur	11	10	44	11	6
Buntsandstein .	90	3	o	8	o	10	4	2
"	300	9	4	3	3	95	7	11
Muschelkalk . .	325	9	Spur	4	14	129	29	17
Dolomitisch . .	418	5	2	Spur	2	140	65	23

*) E. Tiemann u. A. Gärtner, Handb. d. Untersuchung u. Beurteilung des Wassers, 4. Aufl., Braunschweig 1895, Th. Weyl, Handb. d. Hygiene, 1. Bd., 2. Abt., Jena 1896. J. König, Verunreinigung der Gewässer sowie die Reinigung von Trink- und Schmutzwasser, 2. Aufl., 1899, Berlin, Julius Springer. Fischer, Das Wasser, 3. Aufl. 1902, ebenda. Anleitung für . . . öffentliche Wasserversorgungsanlagen nach Bundesratbeschluss. J. G. W. 1906, S. 779. W. Ohlmüller u. O. Spitta, Untersuchung und Beurteilung des Wassers und des Abwassers 1910, Berlin, Julius Springer.

**) Analysen von Reichardt.

Starker Gehalt von Chloriden, schwefelsauren, kohlensauren, salpetersauren und salpétrigsauren Salzen sowie von Ammoniumsalzen kann auf ansteckende oder ekelhafte Verunreinigungen hinweisen. Als Maß des Gehaltes an organischen Stoffen gibt man den Verbrauch des zu ihrer Oxydation erforderlichen Kaliumpermanganats (KMnO_4) oder von Sauerstoff an, wobei 79 T. KMnO_4 und 20 T. O gleichbedeutend sind. Enthält 1 kg Wasser x mg Kalk (CaO) und y mg Magnesia (MgO), so ist die **deutsche Härte** $= 0,1x + 0,14y$ Grad. Der französische Härtegrad ist bestimmt durch 10 mg CaCO_3 in 1 kg Wasser. 1 deutscher H.-G. $= 1,79$ franz. H.-G. Wasser mit weniger als rd. 15° Härte heißt weich, mit mehr hart, mit mehr als rd. 30° sehr hart. Letzteres ist, wenn tunlich, zu vermeiden. Der Magnesia dürfen nur 4° bis 5° zufallen. Beim Kochen setzen sich Bestandteile ab, so dafs sich die Härte verringert. Nachteilig ist es, wenn Wasser seine Leitungen angreift; löst es Blei, so dürfen keine Bleiröhren verwendet werden.

2. Für **gewerbliche Zwecke** wird weiches Wasser bevorzugt. Nachteilig sind salpetersaure Salze und in geringerem Grade schwefelsaure Salze und kohlensaure Alkalien für die Zuckerfabrikation; Eisenverbindungen für die Papierherstellung, Gerberei und — selbst in Spuren — für die Bleicherei und Färberei. Eisenhaltiges Wasser enthält das Eisen zunächst als Oxydulsalz, das beim Stehen an der Luft unter Flockenbildung Sauerstoff aufnimmt. Eisengehalt von 0,3 mg/l, zuweilen schon von 0,1 mg/l an befördert das Wachstum der Bakterie *Chrenotrix polyspora*. Gips bildet Kesselstein. Hartes Wasser schützt Eisenrohre vor Rost, bildet dagegen häufig Kalkniederschläge.

B. Wasserbedarf.

1. **Hausgebrauch.** Bei Bezahlung nach Wassermesserangabe rechnet man etwa für

Trinken, Kochen, Reinigen usw. für den Kopf und Tag	20 bis 30 l
Wäsche für den Kopf und Tag	10 bis 15 „
Abortspülung für den Kopf und Tag	10 bis 15 „
einmalige Abortspülung	5 bis 8 „
ein Wannenbad	300 „
ein Sitzbad	80 „
Garten-, Hof- oder Bürgersteigbesprengung an einem trockenen Tage für 1 qm einmal besprengte Fläche	1,5 „
Tränken und Reinigen ohne Stallreinigung für 1 Pferd im Tage	50 „
dsgl. für 1 Stück Großvieh	40 „
dsgl. für ein Kalb oder Schwein	13 „
dsgl. für ein Schaf	8 „
Reinigen einer Kutsche oder Droschke im Tage	200 „
„ eines Arbeitswagens im Tage	80 „

Der Verbrauch steigt, wenn er nicht durch Wassermesser gemessen wird, auf das Doppelte und höher.

2. Verbrauch zu öffentlichen Zwecken.

Schulen: für den Schüler und Schultag (ohne Zerstäubung für Luftbefeuchtung)	21
Kasernen: für den Mann und Verpflegetag	20 bis 40,,
dsgl. für das Pferd	40,,
Kleinere Krankenhäuser: für das belegte Krankenbett und den Tag	200,,
Große Krankenhäuser: dsgl.	350 bis 500,,
Gasthöfe: für den Kopf- und Verpflegetag (ohne Druckwasseraufzüge)	100,,
Badeanstalten: für das abgegebene Wannenbad einschl. Reinigung	500,,
Schwimmbäder: stündlich 0,025 bis 0,04 des Beckeninhalts und 1- bis 2mal wöchentlich vollständige Neufüllung.	
Waschanstalten: für 1 kg Trockenwäsche	45,,
Schlachthäuser: für jedes Stück geschlachtetes Vieh	300 bis 400,,
Markthallen: für 1 qm bebaute Fläche und den Markttag	5,,
Bahnhöfe s. Eisenbahnwesen.	
Straßen: einmalige Besprengung für 1 qm Pflaster	1,,
dsgl. für 1 qm beschotterte Fläche	1,5,,
öffentliche Ventilbrunnen ohne fortwährenden Abfluss für den Auslauf im Tage	3000,,
stofsweise Pissoirspülung für den Stand stündlich	60,,
dauernde Pissoirspülung für 1 m Spülrohr stündlich	200,,

3. Gewerblicher Verbrauch.

Brauereien: für 1 hl Bier ohne Eisbereitung und Kellertkühlung	500,,
Zur Verwandlung von 1 kg Wolle in Tuch (Dampfmaschine, Wollwäsche, Walkerei und Rauherei, Spülen der farbigen Ware) nach Beifsel	1000,,
Dampfverbrauch samt Leitungs- und Undichtigkeitsverlusten für 1 PS _i bei Auspuffmaschinen	20,,
dsgl. bei einzylindrigen Kondensationsmaschinen	15,,
dsgl. bei Verbundmaschinen	10,,

Zuschlag für Kesselreinigung und Abblasen bis 5 vH.

Einspritzwasser der Kondensationsmaschinen (selten vom Wasserwerk bezogen) für 1 PS _i	350,,
Kühlwasser bei Gasmaschinen für 1 cbm Gas	40 bis 60,,
Verbauen von 1000 Ziegeln einschl. Mörtelbereitung	750,,

4. Verbrauch im Wasserwerk.

Maschinen wie oben: Verbrauch für Füllung der Filter nach ganzer oder teilweiser Entleerung und Nichtbenutzung des ersten Wassers beim Filteranlassen s. Filter, Wasserverluste.

Für eine im Gebrauch befindliche Handfeuerspritze sind 300 bis 400 l/min, für eine Dampfspritze 1000 l/min erforderlich. Bei unmittelbarer Benutzung der Feuerpfosten zum Löschen bedarf ein solcher

300 bis 600 l/min. Es können etwa 2 Feuerpfosten an einem Strang und ein dritter an einem benachbarten gleichzeitig in Tätigkeit sein.

Der Verbrauch ist im Sommer größer als im Winter, bei Tag größer als in der Nacht und wächst im Laufe der Zeit.

Tafel des Wasserverbrauches.

Haupt- ver- sorgung	Stadt	Durchschnittlicher		Größter	Verhältnis
		Tagesverbrauch in l für den Kopf im Betriebsjahre			
		1895 oder 95/96	1907 oder 1907/08		
			q	Q	$\frac{Q}{q}$
Quell- und Stollen- wasser	Wien	—	56	69	1,2
	Aachen	67	96	119	1,2
	Basel	137	157	201	1,3
	Regensburg	133	112	147	1,3
	Eisenach	54	70	92	1,3
Un- verändertes Grund- wasser	Dresden	91	98	145	1,5
	Riga	66	80	104	1,3
	Karlsruhe	140	119	190	1,6
	Darmstadt	74	86	144	1,7
	Glatz	43	49	52	1,1
Enteisendes Grund- wasser	Berlin	78	85	117	1,4
	Kopenhagen	72	104	129	1,2
	Braunschweig	75	77	106	1,4
	Trier	43	92	145	1,6
	Geestemünde	44	62	80	1,3
Gefiltriertes Ober- flächen- wasser	Hamburg	197	156	196	1,3
	Magdeburg	94	93	126	1,4
	Frankfurt a. O.	54	80	114	1,4
	Stettin	76	64	104	1,6
	Reimscheid	50	76	110	1,4

Außerdem wurde aus Haus- und Fabrikbrunnen geschöpft; so bezog in Berlin der Einwohner im Jahresdurchschnitt 1888/89 vom Wasserwerk täglich 64,45 l, aus Einzelbrunnen 48,62 l. Anderseits sind in den Zahlen der Tafel die Verluste einbegriffen, welche bei sorgfältiger Ueberwachung noch etwa 5 bis 15 vH des Verbrauches betragen.

In größeren Städten steigt der Stundenverbrauch bis auf etwa $\frac{1}{14}$ des Tagesverbrauches; in kleinen Ortschaften kann der Verbrauch bei Bränden noch weit bedeutendere Schwankungen hervorrufen.

Für Haushaltungszwecke ist je nach der Häuserhöhe der „bürgerliche Druck“ von 20 bis 25 m über Straßenebene ausreichend; als Feuerwehldruck für unmittelbare Benutzung der Feuerpfosten sind etwa 10 m mehr erforderlich.*)

*) Steighöhe und Sprungweite freier Wasserstrahlen, s. I. Bd., S. 317.

C. Wassergewinnung.

a. Niederschlag, Versickerung und Abfluß.

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe eines Gebietes wird erhalten, indem man die Summe der Produkte aus den jährlichen Niederschlagshöhen aller einzelnen Beobachtungsstellen des Gebietes und den Flächen der zugehörigen Beobachtungsbezirke durch die Fläche des Gesamtgebietes teilt. Nach van Bebbber beträgt die jährliche Niederschlagshöhe durchschnittlich im norddeutschen Tieflande 613 mm, im mitteldeutschen Gebirgslande 690 mm, in Süddeutschland 825 mm (im Gebirge bis 2000 mm), in ganz Deutschland im Mittel 660 mm; hiervon entfallen 18 vH auf den Winter, 23 vH auf das Frühjahr, 36 vH auf den Sommer (Juni, Juli, August) und 23 vH auf den Herbst.

Landstriche mit weniger als 50 cm Niederschlag liegen zwischen der Warthe und der Weichselmündung, vom Oderbruch nordwärts, sowie in den Flusstälern der Provinz Sachsen. Die größten Niederschläge fallen im Harz (Brockengipfel über 170 cm, Clausthal 143 cm), im hohen Venn (Botrange 160 cm), in den Vogesen (Rothlach 154 cm), im Schwarzwald (Freudenstadt 139 cm), am Fusse der Alpen (Isny 139 cm) und im Bergland an der Grenze von Rheinland und Westfalen (Lennep 124 cm, Remscheid 119 cm).

Die S- und W-Seiten der Gebirge sind regenreicher als die N- und O-Seiten; Gebirge, die von SW nach NO streichen, sind beiderseitig fast gleich niederschlagsreich. Die Niederschläge nehmen mit der Meereshöhe zu.

Das Mittel der monatlichen Niederschläge ist nach Hellmann in Norddeutschland im allgemeinen im Juli, in Süddeutschland im Juni am größten und im Januar, Februar oder April am geringsten.

Niederschläge von 100 mm/Tag (Landregen) sind nicht selten. Wolkenbrüche (Platzregen, Schlagregen) können um so heftiger sein, je kürzer sie dauern. Die stärksten in Norddeutschland beobachteten Platzregen von 1 bis 2 Stunden Dauer waren 75 mm in 60 min in Waltershausen (Gotha), 73 mm in 60 min in Trier, 111 mm in 95 min in Schwerin, 134 mm in 100 min in Wildgarten in Westpreußen.*)

Zuweilen gilt, daß vom Niederschlag $\frac{1}{3}$ verdunstet, $\frac{1}{3}$ sofort abfließt, $\frac{1}{3}$ versickert. Zusammen führen aber die deutschen Flüsse nicht $\frac{2}{3}$ des Niederschlages, sondern weniger, nach Gräve durchschnittlich 31,4 vH, ab. Von der Regenhöhe Berlins mit 571 mm jährlich kommen 20 vH ins Grundwasser, 7 vH durch Oberflächenabfluß in die Spree, 73 vH zur Verdunstung.**)

Im Februar ist gewöhnlich die Verdunstung am geringsten (35 bis 40 vH des monatlichen Niederschlages), im Juli und August dagegen am größten (85 bis 90 vH des monatlichen Niederschlages). Bei andauernder Trockenheit nimmt die tägliche Verdunstungshöhe des Erdbodens allmählich ab, so daß die Gesamtverdunstung der Trockenzeit 20 bis 25 mm nicht übersteigt.

Bei zunehmender Bodenneigung vermindert sich die Versickerung. Im Walde halten die Baumkronen nach Ebermayer etwa $\frac{1}{4}$ der Niederschläge zurück; dennoch ist bei streubedecktem Boden wegen geringerer Verdunstung im Walde die jährliche Versickerungsmenge ungefähr wie im Freien bei kahler Fläche, nämlich etwa gleich der Hälfte des

*) S. a. Entwässerung, a) Wassermengen.

**) Piefke, Zur Hydrognosie der Mark Brandenburg. J. G. W. 1900, S. 323.

Niederschlag. Die im Sommer gelieferte Grundwassermenge ist sogar etwa doppelt so groß wie bei kahlen Flächen. Unter Grasflächen ist die Sickermenge nach Beobachtungen Wolfrichs etwa die Hälfte von der unter kahltem Boden.*)

Tafel der Versickerung in Prozenten der Regenhöhe bei beraster wagerechter Oberfläche.

Gegend	Beobachtungs- jahre	Boden	im Mittel vH	kleinste Menge vH
England nach Dickinson u. Evans	1854 bis 1884	sand- u. kieshal- tige Ackererde . Kreidemergel . .	23,5 38,3	9,6 25,9
Görlitz nach v. Möllendorf u. Waage	1853 bis 1856	Tonboden . . . Lehmboden . . . lehmiger Sand- boden . . .	28,1 41,0 40,5	14,5 37,1 28,2
Tharand	1853 bis 1856	Tonboden . . . Tonboden . . . Lehmboden . . .	38,0 43,9 60,9	28,0 35,6 45,4
Moholz, Oberlausitz . . . nach Frh. v. Kleist	1854 bis 1855	Tonboden . . . Lehmboden . . .	41,5 52,7	38,8 50,2

Nach einer Zusammenstellung von Lueger kann 1 cbm trockenes Gestein nachstehende Mengen Wasser in 1 aufnehmen

Granit	0,5—8,6	Schiefer	5,4—27
Syenit	4,7—13,8	Sandstein	6,2—398
Gabbro	6—7	Dolomit	15—221,5
Porphy.	4—13	Kalkstein	15,4—322
Phonolith	20—45	Kreide	144—439
Basalt	6,3—9,5	Toniger Boden . . .	464—481
Basaltlava	44—56		

Grobsand, Kies und Grand	ungefähr 360
Mittelsand, dessen Korn kleiner als 1 mm	„ 400
Feinsand, dessen Korn kleiner als $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ mm	„ 420.

Bei Versuchen von Schübler nahm Boden bis zu seiner Sättigung in Prozenten auf:

	nach Gewicht	nach Raum- inhalt		nach Gewicht	nach Raum- inhalt
Quarzsand	25	50	Ton mit 10 vH Sand . . .	61	82
Kalksand	29	58	Kohlensaurer Kalk . . .	85	81
Reiner Ton	70	87	Gartenerde	88	82
Ton mit 45 vH Sand . . .	40	68	Ackererde	52	74
„ „ 24 vH „	50	73	Schiefriiger Mergel . . .	34	66.

Nach Piefke dürfte Berliner Sand 25 vH Poren enthalten, welche bei sinkendem Grundwasserspiegel 74,5 vH ihres Inhaltes als Durchfeuchtung behalten.

*) Sonstige Angaben: Gerhardt im H. d. I. W., 8. Teil, 4. Aufl., 1. Bd., Leipzig 1905, S. 53 u. f.

Der **Abfluß** erfolgt nicht gleichmäßig, sondern ist abhängig von der Größe der Niederschläge, der Sammelfähigkeit des Bodens, den Verdunstungs- und Temperaturverhältnissen usw. Er macht sich in Flußläufen als Niedrig-, Mittel- und Hochwasser (NW MW und HW) bemerkbar.

In kleinen Flüssen ist im bergigen und hügeligen Gelände die Abflußmenge bei HW 100- bis 200-mal so groß als bei NW, und im Flachlande 30- bis 100-mal so groß. Nach amtlichen Veröffentlichungen ergibt sich für die größeren deutschen Ströme Folgendes:

Stromstrecke	Q in cbm/sk			Verhältnis NW : MW : HW	Abfluß für 1 qkm des Stromgebietes in l/sk		
	NW	MW	HW		NW	MW	HW
Rhein, unterhalb Mainz . .	780	1530	7000	1:2,0: 9,0	4,5	9,0	40,5
„ „ Koblenz . .	900	1720	7900	1:1,9: 8,8			
„ „ Emmerich . .	1060	2000	9100	1:1,9: 8,6			
Elbe bei Torgau	64	266	3410	1:4,1: 5,3	1,6	4,4	23,0
„ Lauenburg	247	640	3360	1:2,6: 13,6			
Oder „ Kosel	10,5	59,5	1800	1:5,7: 17,2	1,6	4,6	28,8
„ Breslau	27	200	2300	1:7,4: 85,2			
„ Schwedt	190	545	2600	1:2,9: 13,7			
Weichsel, Mündung . . .	430	950	5000	1:2,2: 11,6	2,8	13,5	41,2
Memel, Unterlauf	160	260	1250	1:1,6: 7,8	1,4	2,3	11,2

Die (sächsische) Saale zeigt bis zum Eintritt in die norddeutsche Tiefebene auf einem 18 860 qkm großen Gebiete nach 14-jährigen Beobachtungen und Messungen von R. Scheck die in folgender Tafel angegebenen Niederschlag-, Abfluß- und Verdunstungsverhältnisse. Das Winterhalbjahr umfaßt dabei die Monate November bis April, das Sommerhalbjahr die übrigen Monate; ferner bedeutet:

m die mittlere Wassermenge in cbm/ha, *o* den Prozentsatz des Niederschlages und
n die sekundliche Wassermenge in l/qkm, *p* den Prozentsatz der Jahresmenge.

Wasserverhältnisse der Saale.

Bezeichnung	Niederschlag			Abfluß			Verdunstung		
	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
<i>m</i>	2406	3669	6075	1228	635	1863	1178	3934	4212
<i>n</i>	15,4	23,1	19,2	7,8	4,0	5,9	7,6	19,1	13,3
<i>o</i>	100	100	100	51,0	17,3	30,7	49,0	82,7	69,3
<i>p</i>	39,7	60,3	100	65,9	34,1	100	27,9	72,1	100

b. Gewinnung*) durch Quelfassung.

Quellen entstehen, wo der Grundwasserspiegel die Oberfläche schneidet, also an den Talmündungen und undurchlässiger Schichten oder an den Ueberlaufstellen unterirdischer Wasserbecken, ferner an den Mündungen oder Ueberläufen von Spalten oder Hohlwegen, endlich entspringen sie — insbesondere Mineralquellen — aus Spalten einer undurchlässigen Decke, unter welcher Wasser unter Druck steht.

*) Umfassende Werke: Lueger, Die Wasserversorgung der Städte, 1890 bis 1895, Leipzig, A. Kröner; Oesten u. Frühling, Wasserversorgung der Städte, im III. Teil des H. d. I. W., 4. Aufl., 1904, Leipzig, Wilh. Engelmann.

Man eicht eine Quelle (Brunn, Bronnen, Born, Spring), indem man das Wasser unter Beobachtung der Zeitdauer in einen abgemessenen Behälter laufen läßt, oder indem man den Querschnitt des Wasserlaufes und die Geschwindigkeit ermittelt, oder indem man es durch einen rechteckigen Ausschnitt mit zugeshärften Kanten überfallen oder durch eine Oeffnung ausfließen läßt und die Ueberfallhöhe (s. I. Bd. S. 270 u. f.) mißt. Zu fortdauernder Beobachtung bringt man oberhalb des Ueberfalls oder der Ausflußöffnung einen Pegel an, an dem täglich abgelesen wird.

Bezeichnet h die jährliche Niederschlagshöhe in m und F die Gebietsfläche in qkm, so ist, von außerordentlichen kurzen Anschwellungen abgesehen, die größte Wassermenge der eigentlichen, nicht von anderen Wasserläufen gespeisten Quellen nach Lauterburg *) $Q = 0,007$ bis $0,01 h F$ cbm/sk, ferner die kleinste Wassermenge $Q_1 = a_1 Q$ und das bei ausnahmsweiser Trockenheit — kaum einmal während eines Menschenalters — eintretende Immerwasser $Q_0 = a_1 a_0 Q$, wobei im Hügelland und in der Niederung der Schweiz a_1 und a_0 folgende Werte haben

Tafel der Werte von a_1 und a_0 .

Art des Landes	Untergrund						
	sehr undurchlässig, mittelsteil		mittel-durchlässig, flach		sehr durchlässig, mittelsteil		
Geschlossene Waldungen, lockerer Geröllboden, steiniges oder sandiges wüstes Gebiet	$\left\{ \begin{matrix} a_1 \\ a_0 \end{matrix} \right.$	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,75
Aufgebrochenes Kulturland und leichtes Gehölz	$\left\{ \begin{matrix} a_1 \\ a_0 \end{matrix} \right.$	0,35	0,45	0,45	0,55	0,65	0,65
Wiesen und Weidland	$\left\{ \begin{matrix} a_1 \\ a_0 \end{matrix} \right.$	0,25	0,35	0,35	0,45	0,45	0,55
Kahles Felsgebiet (kommt in den Niederungen selten vor)	$\left\{ \begin{matrix} a_1 \\ a_0 \end{matrix} \right.$	0,20	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50

Hierbei ist unter mittelsteil eine durchschnittliche Neigung des Geländes von 11 bis 35 vH, unter flach eine solche von 3,5 bis 11 vH verstanden. Q_1 und Q_0 stellen zugleich die ständige Kleinwassermenge der fließenden Gewässer dar. Aus dem Verhältnis der Kleinwassermenge zur Gebietgröße eines Flusoberlaufes ist daher ein Rückschluß auf die Quellenergiebigkeit möglich.

Die Herkunft einer Quelle ist für ihre gesundheitliche Ungefährlichkeit und die Stetigkeit ihrer Ergiebigkeit von Bedeutung und kann oft aus der chemischen Beschaffenheit und den Temperaturschwankungen — die möglichst klein sein sollen — gefolgert werden.

Eine Quelle ist mit Rücksicht auf Frost und unreine Tagewasser (Wildwasser) 1,5 m (besser 2,0 m) tief in einem zugänglichen Wasser-

*) Allgemeine Bauzeitung 1887 S. 18, 91. — Vrgl. auch Iszkowski, Z. 6. A. u. I. V. 1886 S. 69 u. f.; Becker, Odenwald- u. Schwarzwaldquellen. J. G. W. 1889 S. 28; Halbig, Quellrückgänge sächsischer Leitungen in der Dürre 1904. J. G. W. 1905 S. 966.

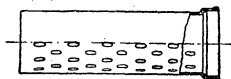
schlofs (Quellenhaus, Quellstube, Quellenschacht, Brunnenstube, Brunnenkammer) zu fassen; sie mufs, falls sie — wie die meisten — manchmal trübe läuft, ausschaltbar sein.

c. Gewinnung durch Sammelgänge, Sammelrohre und Stollen.

Unterirdisches Wasser ist zu erwarten, wo durchlässige Schichten auf undurchlässigen aufruhcn. Undurchlässig sind z. B. Ton und Lehm, dsgl. Gneis, Granit, Urschiefer, Porphy, wenn nicht zerknickt und zerrissen, und gewöhnlich auch jüngerer Schiefer. Durchlässig sind Sand, Kies, Gerölle, sowie Kalk, Kreide, Dolomit und Buntsandstein. Im Kalk sinkt das Wasser manchmal in bedeutende Tiefe. Das Verhalten von Mergel wechselt. Die durch Abbruch durchlässigen oder undurchlässigen Gesteins entstehenden Schichten sind meist ebenfalls durchlässig bzw. undurchlässig. Zu beiden Seiten einer mit Letten u. dgl. angefüllten Verwerfungsspalte kann der Grundwasserspiegel verschieden hoch liegen. Die Voruntersuchung umfaßt die Herstellung eines Höhenschichtenplanes, in den die Wasserspiegel etwaiger Brunnen und Bohrlöcher einzutragen sind, die geologische Aufnahme, die Messung vorhandener Quellen und hiernach die Feststellung des Sammelgebietes, dessen Grenzen nicht immer mit oberflächlichen Wasserscheiden zusammenfallen; nötig ist auch die Kenntnis der Niederschlagshöhe.

Um Wasser zu gewinnen, das in gesonderten Fäden über undurchlässigen Grund läuft, der einen unterirdischen Abhang bildet, kann man einen **Sammelgang** (Sickerdohle, Filtergang) auf dem undurchlässigen Grund mauern, der nur bergseitig durchlässig ist und alles Wasser auffängt. Wenn es zulässig ist, das Wasser bis in die Täler der undurchlässigen Schicht sickern zu lassen, so genügt es, dort gelochte Rohre aus Ton oder Beton oder gußeiserne **Sammelrohre** (Abb. 1, Schlitzrohre, Sickerrohre) zu verlegen. Die Muffen braucht man nur so weit zu füllen, dafs kein Boden einrollt. Sammelstränge empfehlen sich auch in Boden von sehr wechselnder Beschaffenheit und überhaupt bei hoher Lage der undurchlässigen Schicht. Die z. B. 100 mm langen, 10 mm breiten Schlitzze erweitert man, um Verstopfungen zu verhüten, nach innen. Bei feinem Sand u. dgl. darf das Wasser nicht so geschwind eintreten, dafs es sich durch mitgerissene Bodenteilchen trübt. Hiergegen hilft ein Umgeben der Rohre mit Kies. Die Eintrittsgeschwindigkeit ist an den Strangenden am gröfsten. Die Rohrgräben sind, um Tagewasser abzuhalten, zu oberst mindestens 30 cm hoch mit Lehm auszustampfen, über den Ackererde kommt. Sammelstränge kann man auch durch stumpf aneinander stofsende unglasierte Drainrohre bilden. Ferner läfst sich durch zu unterst mit Bruchsteinen ausgepackte Gräben (Sickerschlitzze) drainieren.

Abb. 1.



Stollen dienen zur Entwässerung festen Gebirges. Wenn durchlässige Schichten mit undurchlässigen abwechseln, treibt man einen 0,8 bis 1,2 m weiten Stollen quer zu ihrem Streichen unter einem

Gefälle von mindestens 0,0005, so daß in allen durchlässigen Schichten die Wässer angezapft (erschroten) werden. Je nach der Wassermenge kann seine Begehung, die 1,9 m lichte Höhe erfordert, auf einer Berme neben der tieferen Wasserseige (Rösche), auf einem Steg, z. B. aus Eisenbeton auf Eisenträgern oder auf der Stollensohle selbst vorgesehen werden. Meist schließt sich an den Wasserspiegel im Stollen der Grundwasserspiegel im Gebirge beiderseitig ansteigend an; ist der Stollen zu klein, um alles Wasser beim vorhandenen Gefälle fortzuführen, so läuft er voll, und der Grundwasserspiegel bleibt über seiner Firste. Das Gebirge läßt sich oft bis zur Höhe vorhandener als Ueberläufe wirkender Quellen als natürlicher Behälter benutzen, indem man den Stollen durch eine z. B. 2 m dicke Dammauer oder eine gußeiserne Dammtür abschließt, als Abfluß einen Gußrohrstrang anordnet und diesen mit einem Schieber versieht. An einem Druckmesser kann man ablesen, wie hoch das Wasser im Gebirge steht. Eine Dammtür ermöglicht, den Stollen zu begehen, nachdem er entleert ist; andernfalls wäre hierzu ein Schacht nötig. Stollen können zutage treten oder von einem Schacht ausgehen, den man der leichteren Abteufung wegen wenn möglich im undurchlässigen Gebirge niederbringt.

e. Gewinnung durch Brunnen.*)

1. Allgemeines. Zur Gewinnung des Wassers aus einem zusammenhängenden Grundwasserströme sowie aus einem Flusse, der von durchlässigem Boden (einem natürlichen Filter) umgeben ist, dienen Brunnen. Sie sind billiger als Sammelstränge, u. zw. um so mehr, je tiefer das Wasser unter der Oberfläche angetroffen wird.

Das Vorhandensein von **Grundwasser*)** wird durch Schürfung, wenn tiefer, durch Bohrung ermittelt. Um Einblick zu erlangen, empfiehlt es sich, die Wasserspiegel der Bohrlöcher (s. u. Rohr- und Abessynierbrunnen, S. 714 u. 716) sowie der vorhandenen Brunnen zu erheben und einen Höhenkurvenplan des Grundwasserspiegels anzufertigen. Bei Standrohren überzeuge man sich durch Eingießen von Wasser, ob sie nicht etwa verstopft sind. Auch die chemische Beschaffenheit, die Temperatur und deren Veränderlichkeit können Aufschluß über die Herkunft des Wassers geben. Nach Lueger ist neben einem alten Hochgestade sowie in früheren Flußbetten besondere Aussicht auf starke Grundwasserströmung, ferner stets zwischen den Stellen, wo ein offener Strom Wasser verliert und wo dieser oder ein benachbarter Strom gewinnt.

Zuweilen kann man die **Strömungsgeschwindigkeit** nach Thiem**) unmittelbar messen, indem man, um zunächst die Gefällrichtung zu ermitteln, 3 Bohrungen in 10 bis 50 m Abstand herstellt, deren Spiegel nivelliert und dann ein viertes Bohrloch im Stromfaden eines der früheren niederbringt. Von diesen Bohrlöchern beschicke man das obere mit 150 bis 200 kg Kochsalz in konzentrierter Lösung. Am unteren Bohrloche nehme man $\frac{1}{4}$ - oder $\frac{1}{2}$ stündig Proben und untersuche sie auf Kochsalzgehalt.

*) Ueber Anlage von Brunnen vgl. auch Abschn. Grundbau, S. 246.

**) Vgl. z. B. Smreker, J. G. W. 1899 S. 22; Prinz, J. G. W. 1901 S. 317, 339; G. Thiem, Hydrologische Methoden, Leipzig, J. M. Gebhardt's Verlag 1906; J. G. W. 1909, S. 260.

***) A. Thiem, Z. V. d. I. 1887 S. 1133.

Die Division der zwischen der Beschickung des oberen Bohrloches und dem Auftreten größten Salzgehaltes im unteren vergangenen Zeit in st durch den Abstand dieser beiden Bohrlöcher in m soll die Wassergeschwindigkeit in m/st, und die Multiplikation letzterer mit dem Querschnitte des wasserführenden Bodens in qm und der Verhältniszahl (etwa 0,22 bis 0,28), die angibt, wieviel Hohlraum die Raumeinheit des Geschiebes enthält, die Strömungsmenge (Ergiebigkeit) des Grundwasserstromes in cbm/st liefern. Forchheimer fand bei Trogversuchen, daß der Höchstgehalt ungefähr mit der $1\frac{1}{4}$ -fachen und das erste Auftreten von Kochsalz oder Fluoreszin etwa mit der 5fachen Grundwassergeschwindigkeit fortschritt. Slichter*) verwendet Salmiak statt Kochsalz und beobachtet die Veränderung der elektrischen Leitungsfähigkeit des Bodens.

Durch Betrieb eines **Probebrunnens** kann man das Wasser in Bewegung setzen und durch Standröhren den Höhengschichtenplan des Grundwasserspiegels und hiermit die **Breite** des Grundwasserstreifens ermitteln, welcher die Schöpfmenge liefert, also die Ergiebigkeit der Breiteinheit ermitteln.

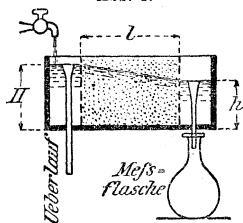
Häufig wird die Ergiebigkeit eines Grundwasserstromes durch Ermittlung seines Querschnittes und Gefälles sowie der **Bodendurchlässigkeit** k in m/Tag bestimmt.**). Bei geringem Grundwassergefälle α darf die Filtergeschwindigkeit, d. i. die Wassermenge in cbm, die in 24 st durch 1 qm (lotrechten) Bodenquerschnitt fließt, $= k\alpha$ gesetzt werden. Die wahre Geschwindigkeit ist, da das Wasser sich nur durch die Hohlräume bewegt, beträchtlich größer als die Filtergeschwindigkeit. Bei feinem, reinem Sand und t^0 C. ist nach Hazen die Durchlässigkeit $k = 1000 (0,7 + 0,03 t) d^2$. Unter d ist der Durchmesser des in eine Kugel umgeformten wirksamen Kornes in mm zu verstehen, das sich durch die Regel bestimmt, daß sämtliche Körner, die kleiner als das wirksame Korn sind, zusammen $\frac{1}{10}$, sämtliche größeren zusammen $\frac{9}{10}$ des Gesamtgewichtes der Sandmasse wiegen. Man kann k bestimmen, indem man eine Bodenprobe zwischen zwei lotrechte Metallgewebe in einen Trog von der Breite b füllt und Wasser durch einige Tage durch den Boden fließen läßt, wobei man die Spiegel an beiden Trogenden durch Standröhren feststellt. Laufen Q cbm/Tag durch, so gilt (s. Abb. 2)

$$k = \frac{2 l Q}{b (H^2 - h^2)}.$$

Bei der Ungleichförmigkeit des Bodens und seiner Veränderlichkeit beim Füllen ist es viel sicherer, k im groben zu ermitteln, indem man aus einem Probebrunnen Q cbm/Tag schöpft. Nimmt dabei im Umkreise R m um den Brunnen das Wasser die Höhe Z m über der undurchlässigen Schicht und sein Spiegel das gegen den Brunnen gerichtete Gefälle ν an (Abb. 3), so gilt

$$k = \frac{Q}{2 \pi R Z \nu}.$$

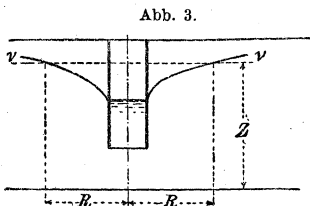
Abb. 2.



*) J. G. W. 1903 S. 230.

**) Vgl. Bd. I S. 284, Fließen durch Erdreich.

Bei unbekannter Lage der undurchlässigen Schicht ermöglicht die Vornahme zweier Pumpversuche mit voneinander abweichenden Entnahmen Q_1 und Q_2 aus



$$k = \left(\frac{Q_1}{r_1} - \frac{Q_2}{r_2} \right) : 2\pi R (Z_1 - Z_2),$$

da der Höhenunterschied $Z_1 - Z_2$ meßbar ist, k und dann Z_1 sowie Z_2 zu berechnen.

Hat*) bei ausgedehnter, wagrechter, undurchlässiger Schicht das Grundwasser an der Brunnenstelle ursprünglich die Tiefe H m (Abb. 4) und das Gefälle α (wobei α eine Verhältniszahl ist) gehabt, so ruft der Betrieb eines bis zur undurchlässigen Schicht abgeteuften Brunnens vom Halbmesser r m mit durchlassender Wandung die Spiegelsenkung $H - h$ hervor, wobei

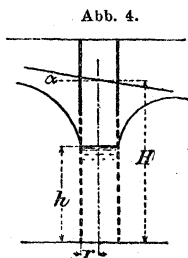
$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{H}{\alpha r}$$

ist. Liegt der Brunnen im Abstände a m von einem Flusse, so ist

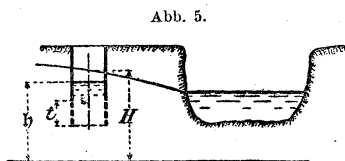
$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{2a}{r}.$$

Ist seine Wandung nur auf die Höhe t durchlässig, seine Sohle dicht, so stellt sich sein Spiegel auf die Höhe η über der undurchlässigen Schicht, und es ist

$$H^2 - \eta^2 = \frac{Q}{\pi k} \sqrt{\frac{\eta}{t}} \sqrt[4]{\frac{\eta}{2\eta - t}} \ln \frac{2a}{r}.$$



Ähnlich gilt für offene Sohle (Abb. 5)



$$H^2 - \eta^2 = \frac{Q}{\pi k} \sqrt{\frac{\eta}{t + 0,5r}} \sqrt[4]{\frac{\eta}{2\eta - t}} \ln \frac{2a}{r}.$$

*) Forchheimer, Z. ö. I. u. A. V. 1898 S. 629, 645; 1905 S. 587; 1906 S. 201; Z. d. V. d. I. 1899 S. 202; ders., Bestimmung der Durchlässigkeit aus dem Steigen des Brunnenspiegels bei Pumpenstillstand, Z. ö. I. u. A. V. 1905 S. 590; ders., Ueber einige Grundwasserspiegel, S. A. a. d. Sitzungsberichten, Wien, Alfred Hölder 1908; ders., Grundwasserspiegel bei Entnahme durch beliebig angeordnete in der Nähe eines Flusses gelegene Brunnen, Hütte 18., 19. u. 20. Aufl.

Wird durch eine Reihe von Brunnen gefasst, die im Abstände $2a$ aufeinander folgen und sich im Abstände b von einem Flusse befinden, dessen Spiegel die Höhe h über einer wagerechten undurchlässigen Schicht besitzt, so entsteht, falls der Binnenzufluss in die Längeneinheit Flufs ursprünglich q betrug und nunmehr aus jedem Brunnen Q geschöpft wird, ein Grundwasserspiegel von der Gleichung

$$z^2 - h^2 = \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{\cos \pi \frac{y-b}{a} - \cos \pi \frac{x}{a}}{\cos \pi \frac{y+b}{a} - \cos \pi \frac{x}{a}} + \frac{2qy}{k}.$$

Hierin bedeutet z die Erhebungen der Spiegelpunkte über der undurchlässigen Schicht, y die Abstände vom Fluszufer, x senkrecht zu y gemessene Abszissen. Für einen Schnitt durch die Brunnennachsen gilt (s. Abb. 6) für nicht zu große x (so dass z. B. x einen Brunnenaussenhalbmesser bedeuten kann), falls $b \geq a$ ist, genügend genau

$$Z^2 - z^2 = \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{2a}{\pi x}, \quad H^2 - Z^2 = \frac{Q}{k} \left(\frac{b}{a} - \frac{\ln^2}{\pi} \right) = \frac{Q}{k} \left(\frac{b}{a} - 0,22 \right).$$

Die Gültigkeit der Gleichungen wird dadurch beeinträchtigt, dass in der Nähe der Brunnen der Boden durch das Pumpen verändert wird. Immerhin zeigen die Gleichungen, dass bei gegebener Entnahme die Spiegelsenkung vom Brunnenhalsmesser wenig abhängt, während sie mit der Brunnenzahl sehr abnimmt. Bei kleiner Senkung und weit voneinander abstehenden Brunnen ist sie ihr umgekehrt proportional.

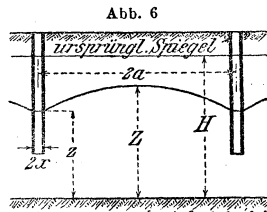
Für Brunnen, in die nur durch die ebene bzw. halbkugelförmige Sohle Wasser eintritt, findet sich näherungsweise die Senkung

$$H - h = \frac{Q}{4kr} \quad \text{bzw.} \quad = \frac{Q}{2\pi kr}.$$

Kleine Tonbeimengungen verringern die Durchlässigkeit außerordentlich (s. I. Bd, S. 314 u. f.). Wenn der wirksame Korndurchmesser 3 mm erreicht, wächst das Gefälle ν nicht mehr proportional der Filtergeschwindigkeit v , sondern stärker; beispielsweise fand Forchheimer für v in km/Tag

$$\begin{aligned} \text{im Kies des Lechfeldes bei Gersthofen } \nu &= 0,82 v + 10,7 v^2, \\ \text{„ „ „ Marchfeldes } \nu &= 1,77 v + 318 v^2. \end{aligned}$$

Brunnen in der Nähe von Flüssen können sowohl Binnenwasser als auch Fluswasser führen. Im letzteren Falle findet eine natürliche Filterung statt. Häufig sind Flussbetten dicht, auch wenn der anstossende Boden durchlässig ist. Ueber die Herkunft des Wassers geben die chemische Beschaffenheit, die Temperatur und ihr Wechsel, sowie das Grundwassergefälle Aufschluss. Sollen einem einzigen Brunnen Q cbm/Tag entnommen werden und laufen q cbm/Tag Grund-



wasser in das Längenmeter des Flusses, so muß der in m gemessene Abstand a des Brunnens vom Ufer $> \frac{Q}{\pi q}$ sein, damit er nur Binnenwasser liefert.

Pumpversuche zum Nachweis genügenden Zuflusses sollen mindestens einige Wochen dauern. Falls der Zufluß ausreicht, nähert sich der Brunnenspiegel immer langsamer einer Grenzlage. Zeigt sich keine solche asymptotische Annäherung, so langt der Zufluß nicht zur dauernden Speisung.

Neben der Senkung des Wasserspiegels, die Förderkosten verursacht und höchstens 2 m betragen soll, ist für die Bemessung der Brunnensweite die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers zu berücksichtigen.

Nach Thiem ist für die Korngröße

0 bis 0,25 0,25 bis 0,5 0,5 bis 1 1 bis 2 2 bis 3 mm

die Geschwindigkeit, bei der das Korn eben schwebt,

0 bis 29 35 bis 69 75 bis 96 110 bis 170 179 bis 820 mm/sk.

2. Kesselbrunnen (Brunnen mit weitem Kessel, Schachtbrunnen) aus Mauerwerk, Beton, Eisenbeton oder Eisen sind nötig, wenn die Unterbringung von Pumpen es erfordert, oder wenn, wie bei Hausbrunnen, nur zeitweise gepumpt wird und in den Zwischenpausen sich langsam zusickerndes Wasser ansammeln soll. Bei größeren Anlagen ist aus hygienischen Gründen, die Pumpe, die gelegentlichen Zutritt erfordert, nicht in den Brunnen zu legen oder eine Zwischendecke vorzusehen.

2a. Gemauerte Brunnen werden, da Bruchsteine sich für die dünnen Wände schlecht eignen, aus Ziegeln hergestellt und erhalten bei einem lichten Durchmesser von 1 bis 1,5 2 bis 3,5 4 bis 5,5 6 bis 7,5 m

Wandstärken von 1 1½ 2 2½ Stein.

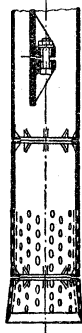
Sie sind in Zementmörtel dicht oder in der Tiefe mit einzelnen offenen Stoffsugen zu mauern. Die Durchlässigkeit kann man auch durch Anwendung von Lochsteinen erreichen. Bei Hausbrunnen von 1 bis 1,5 m Dmr. legt man auch wohl die unteren Schichten in Lehm. Die obersten 5 bis 8 m seien des Tagewassers wegen dicht. Der Brunnen rage etwas über die umliegende Fläche hervor und sei mit einem Eisendeckel verschlossen oder so hoch geführt, daß der Zutritt durch eine Tür erfolgt. Auf die Sohle pflegt man einen verbolzten hölzernen, mit Eisen verstärkten oder einen eisernen (am besten gußeisernen) Brunnenkranz (Brunnenschling) zu legen. Er ist unbedingt erforderlich, wenn der Brunnen durch „Senken“ mit oder ohne Wasserhaltung (Wasserwältigung) niedergebracht wird, wobei man ihn als Schneidenkranz (Schuh) ausbildet. Der Unterteil wird in Abständen von ungefähr 2 m mit Zwischenkränzen oder auch nur eingelegten Eisenringen versehen, die untereinander und mit dem Schneidenkranze durch 6 bis 8 etwa 3 cm starke Anker (Schließen, Schleudern) verbunden werden. Er kann dann nicht beim Baggern reißen. Kränze in etwa 1 bis 2 m Abstand wendet man ferner an, wenn unter Wasserhaltung in Absätzen von gleicher Höhe ausgegraben und das Mauerwerk jedesmal unterfangen wird. Verjüngung des Schachtes nach

oben, auch wohl Vortretenlassen der Kränze erleichtert zwar das Senken, befördert aber den unerwünschten Zudrang von Tagewasser. Senkung unter Preßluft kann ausnahmsweise Ersparnis bringen.

2b. Stampfbetonbrunnen können ähnlich wie gemauerte mit Eisen- einlagen versehen und versenkt werden. Richtiger ist es, die Ringe abwechselnd näher an die innere und äußere Leibung zu legen.*) Stampfen im Schacht selbst, wo Wasserhaltung möglich, verbürgt dichten Anschluß an die Erde.

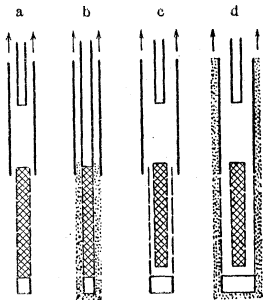
2c. Eiserner Schachtbrunnen (Abb. 7) erfordern bei gleicher lichter Weite weniger Baggerarbeit, gestatten, mehr Durchgangfläche (nämlich viele Schlitz) anzubringen, lassen sich, weil fester, mit größerer Sicherheit senken, und kommen bei rd. 10 m, zuweilen schon bei geringerer Tiefe, billiger als gemauerte. Man setzt sie aus gußeisernen Schachtkränzen (tubings) zusammen, deren unterster (Schuh) mit einer Schneide versehen ist. Die Verbindung geschieht bei Weiten über 1 m meist durch einspringende, von Rippen unterstützte Flanschen mittels lotrechter, bei kleineren Weiten durch Innenübergriff mittels wagerechter Schrauben.

Abb. 7.



2d. Rohrbrunnen (Röhrenbrunnen) werden hergestellt, indem man innerhalb einer Bohrtour (Bohrschale) Bohrer anwendet und die Erde oder das zerstoßene Gestein (trockenes Bohrmehl oder nasser Bohrschmand) herausschafft, wobei man die Bohrschale, und zwar meist durch Rammschläge, stetig tiefer treibt. Ist die endgültige Tiefe erreicht, so wird innerhalb des starken, unter Umständen stählernen Bohrrohres der endgültige Brunnen eingebaut, wenn nötig der Zwischenraum zwischen dem Brunnenrohr (Futterrohr) und dem Bohrrohr mit Kies, der den Sandeintritt verhindern soll, ausgefüllt und dann das Bohrrohr herausgezogen. Der Brunnen (s. Abb. 8) selbst besteht aus dem untersten als Schlitzrohr oder als Gitter ausgebildeten Sauger (Grobfilter), dem (äußeren) Futterrohr** (Brunnenrohr), dem (inneren) Steigerrohr (Saugerrohr) und Metallgewebe, ferner häufig einem Peilrohr für Probeentnahmen und Untersuchungen. Ist das Steigerrohr nicht selbst zu unterst als Grobfilter ausgebildet, so braucht es (Abb. 8 a c d) nur so tief zu reichen, daß es stets sicher ins Wasser taucht.

Abb. 8.



*) Beispiele: Mörsch, Eisenbetonbau, 2. Aufl. 1906 S. 180; v. Emperger, Handb. f. Eisenbetonbau, 3. Bd., Berlin 1907 S. 85.

**) Brunnenrohre s. I. Bd. Abschn. Maschinenteile VII. Brunnenzeichnungen: Halbertsma, J. G. W. 1903 S. 750 (Tilburg); v. Feilitzsch, J. G. W. 1909 S. 125 (Braunschweig); Halbertsma u. Speiser in Festschrift, Die öffentliche Gesundheitspflege Wiesbadens.

Andererseits darf das Futterrohr, wenn dessen Ende nicht selbst das Grobfilter darstellt (Abb. d), nicht so tief reichen, da es den Wassereintritt ins Grobfilter behindert. Man benutzt daher häufig das Futterrohr selbst beim Bohren und zieht es, nachdem man fertig gebohrt und das Grobfilter oder das als solches endigende Steigerrohr eingehängt, auch wohl einen Kiesmantel um das Grobfilter eingeschüttet hat, so hoch, da es das Grobfilter frei wird. Das Gewebe, welches den Sandeintritt hindern soll, wird um den Sauger gewickelt oder bildet, wenn die lichte Weite es gestattet, einen eigenen behufs Reinigung herausnehmbaren Filterkorb. Da vor dem Herausnehmen die Verbindung zwischen dem Steigerrohr und der übrigen Rohrleitung (Heberleitung) gelöst werden muß, läßt man bei Anwendung eines losen Filterkorbes den Brunnen von einem Einsteigeschacht von mindestens 1,5 m lichter Weite ausgehen. Ohne Filterkorb ist man genötigt, wenn das Gewebe sich verstopft, den Brunnen gänzlich herauszuziehen und neu zu bohren. Für die Futterrohre verwendet man meist Gußeisen oder verzinktes Schweißseisen, für die Sauger verzinktes Schweißseisen oder Kupfer, für die Steigerrohre verzinktes Eisen oder Kupfer. Gröberes Gewebe kann man aus verzinktem Eisendraht herstellen, für feineres nimmt man Messing, das zur Vermeidung der Elektrolyse manchmal verzinkt wird. Thiem wählt die Maschenweite des Gewebes so, da es dieses $\frac{2}{3}$ des Sandes durchläßt. Um den zu feinen Sand rings um den Sauger auszupumpen, kann man 2 bis 3 Tage die doppelte Wassermenge der künftigen fördern. Einfacher und wirksamer ist das Auskolben (Stöpseln), wobei man einen Kolben mit oder ohne Dichtung einführt und ihn öfters rasch hebt und langsam senkt. Das einströmende Wasser reißt dabei Sand mit, den man aus dem Brunnen durch eine Ventilbüchse entfernt. Sauger städtischer Versorgungen sind meist 150 bis 200 mm weit, selten unter 3 oder über 20 m lang; lose Filterkörbe erhalten 300 mm oder mehr Dmr.; ein Peilrohr ist 25 bis 40 mm weit. Als Abschlufs gegen Tagewasser dient häufig ein Gummiring zwischen Futter- und Steigerrohr.

Rohrbrunnen ermöglichen es, ohne große Kosten Wasser aus keimfreier Tiefe zu beziehen. Zur Fassung ausgedehnter Grundwasserströme sind sie in etwa 12 bis 60 m Abstand in einer Reihe quer zur Strömung anzuordnen. Man kann jeden Brunnen mit einem Absperrschieber versehen oder eine Anzahl, z. B. 10 Brunnen, nicht absperrbar mit einer Leitung verbinden, die sich vom Hauptheber*) abschließen läßt. Der Hauptheber taucht in einen Schacht, aus dem das Pumpwerk fördert. Hat der Sammelschacht eine dichte Sohle und taucht er ins Grundwasser, so muß er schwer genug sein, um nicht aufzuschwimmen.

2e. Tiefbrunnen**) ähneln den beschriebenen Rohrbrunnen und sind bis zu den größten Teufen (100 m Tiefe wurden oft überschritten) ausführbar. Die Hauptschwierigkeit bildet das Nachtreiben der Verrohrung. In festem Gebirge ist es zulässig, das Bohrloch erst nach fertiger Abbohrung zu verrohren; auch kommt es vor, da es man ein Bohrloch ganz oder in seinem unteren Teile unverbohrt läßt; das Bohr-

*) Heber, s. Durchflufs durch gefüllte Leitungen, I. Bd., S. 281, Saugheber, II. Bd., S. 597.

**) Tecklenburg, Handbuch der Tiefbohrkunde, Leipzig, Baumgärtners Bhd. 1886—96.

rohr (hier zugleich Futterrohr) kann in beliebiger Tiefe durchschnitten und von der Schnittstelle an ein Stück hochgezogen oder ganz herausgezogen werden. Wenn ein Futterrohr sich nicht mehr tiefer treiben läßt, wird ein engeres eingesetzt, das zunächst über Tag reicht und später oberhalb der Schneide des weiteren Rohres wiedergewonnen wird. Unter Umständen kann man in wasserführenden Schichten engere Rohre ansetzen, damit das Wasser zwischen den aufeinander folgenden Rohren eintritt. Vorsichtig ist genaue Aufnahme der Schichten und der Steighöhe ihres Wassers, Bohren mit jeder Tour, solange es geht, und nachträgliches Durchlochen der Verrohrung in jenen Schichten, aus denen Wasser höher steigt als der endgültige Spiegel — sonst tritt es in die Schichten schwächeren Druckes über. Auch kann man ein Rohr einlassen, das stellenweise als Filter ausgebildet ist, und das man, wo erforderlich, gegen das Bohrloch abdichtet.

Tiefbrunnen geben oft mineral- oder gasreiches Wasser. Ihre Ergiebigkeit sinkt, wenn dieselbe wasserführende Schicht in der Nachbarschaft angezapft wird.

Steigt das Wasser über die Erdoberfläche, so ist der Brunnen ein artesischer (Springquell). Sein Ausfluß nimmt mit der Höhe ab, bis zu der man das Wasser vermöge seines natürlichen Druckes ansteigen läßt.

2f. **Abessynierbrunnen** (amerikanische Rohrbrunnen, Norton-Brunnen) haben ein einfaches, 25 bis 75 mm weites Rohr, das unmittelbar in den Boden getrieben wird, u. zw. bei leichtem Boden und Tiefen unter 6 m durch Eindrehen, meist jedoch durch Einrammen (Rammbrunnen). Die untere Endspitze (Abessynier-Sauger) ist daher eine Schrauben- oder eine Rammspitze. Je nach dem Boden ist sie seitlich durchlocht oder durchlocht und mit Metallgewebe (Gaze) umgeben. Bei hohem Wasserstande wird die Pumpe aufgesetzt, bei tiefem muß man einen Pumpenzylinder (Stiefel) in das Steigrohr versenken und von oben ein Gestänge hinabreichen lassen. Die Norton-Brunnen werden besonders zu Vorarbeiten für Wasserversorgungen benutzt; ihr Eintreiben liefert keine Bohrproben.

e. Gewinnung aus Flüssen und Seen.

Unmittelbare Entnahme aus Flüssen ist aus Gesundheitsrücksichten tunlichst zu vermeiden, aber bei wenig durchlässigem Untergrunde manchmal nötig. Die Entnahmestelle liege oberhalb der Strecke mit bewohnten Ufern auf der schwächer besiedelten Flußseite. Die Entnahme geschieht durch einen Kanal oder ein Rohr. Zum Zurückhalten schwimmender Gegenstände dient ein Rechen oder Seiher, wenn nötig auch ein Schacht, in den das Pumpensaugrohr taucht. Das Wasser ist jedenfalls zu filtern.

Zur Entnahme aus einem See legt man ein Gelenkrohr*) weit in den See hinein. Filterung ist nötig.

*) Gelenkrohr im Rhein bei Walsum, Z. d. V. d. I. 1908 S. 325.

D. Aufbereitung.

a. Klärbecken, Vorfilter.

Klärbecken (Ablagerungsbecken) werden ausnahmsweise bei sehr schmutzigem Flufswasser angewendet, um zu häufige Erneuerung der Filter zu vermeiden. In Deutschland pflegt man ihren Inhalt höchstens dem Tagesbedarfe gleich zu machen, während z. B. die Londoner ihn 3- bis 18mal fassen. Man muß die Größe durch einen Klärversuch bestimmen. Man läßt Klärbecken der Kosten wegen offen (Klärteiche) bei mindestens 3 bis 4 m Tiefe, sonst wird das Wasser zu warm. Klärbecken für unterbrochenen Betrieb bieten zugleich Vorrat für Hochwassertage und erlauben, wo Flut die Wassergüte beeinflusst, Entnahme zur günstigsten Zeit. Bei ununterbrochenem Betriebe (Durchlaufgeschwindigkeit etwa 1 bis 2 mm/sk) kann man durch eine verstellbare lotrechte Platte, unter oder über die je nach der Temperatur das Wasser treten muß, verhindern, daß es in dünner Schicht durch den Teich läuft. Auch Quermauern (Zungen) mit Löchern an der Sohle für die Entschlammung beim Reinigen oder Zwischenplatten kommen vor. Die Klärung kann durch Zusatz von Chemikalien, die einen Niederschlag bilden, befördert werden. So setzt man, um Rohwasser zu entfärben, bisweilen schwefelsaure Tonerde (12 bis 120 g für 1 cbm Wasser) oder Alaun hinzu.

Unter Umständen empfiehlt sich wenigstens zeitweise doppeltes Filtern.*) **Peters**)** (Zürich, Wientalwasserleitung) hält gröbere Fremdkörper (Plankton) durch ein **Vorfilter** zurück, das den üblichen Sandfiltern (s. S. 717) gleicht, doch mit 40 bis 70 m/Tag betrieben und durch Einblasen von Luft bei gleichzeitiger Rückspülung gereinigt wird. Die Luft verteilt ein Rost von gelochten Rohren unter dem Sand. Man braucht 5 bis 10 l/sk Luft auf 1 qm Filter und reinigt alle 1 bis 2 Tage jeweils 20 bis 30 min. **J. M. Pennink***)** wendet für Amsterdam ein Vorfilter mit 1 m dickem Bett aus Kies von 1 bis 7 mm Korn an. Das Wasser (stündlich 2 cbm auf 1 qm Vorfilter) wird zwecks Sauerstoffaufnahme mittels Spritzdüsen, bei denen je zwei Strahlen aufeinanderstoßen, sehr fein verteilt. In der Mitte jedes Beckens von 100 qm nimmt ein Standrohr das Schmutzwasser bei der Reinigung auf, die unter Anwendung eines Strahlrohres durch Abspritzen mit 100 cbm Druckwasser in 2 bis 3 st erfolgt.

Stufenfilter†) wenden Puech und Chabal für schmutziges Wasser (Paris, Le Mans, Magdeburg, Suezkanal usw.) an, indem sie dasselbe mehrmals filtern und behufs Sauerstoffaufnahme dazwischen überfallen lassen, wodurch sie lange Betriebsdauer der letzten Filter erzielen. In Magdeburg folgen für künftig etwa 45000 cbm Tagesleistung aufeinander je 8 Abteilungen zu 20, 35, 64 und 147 qm Kies von Taubenei- bzw. Haselnuß-, Bohnen- und Erbsengröße, dann 4000 qm Vorsandfilter,

*) Goetze: Bremen; Koschmieder: Altona; Halbertsma u. van t'Hoff: Schiedam, J. G. W. 1896 S. 2, 18, 34, 127, 467.

**) J. G. W. 1901 S. 681, 701.

***) J. G. W. 1908 S. 618.

†) Dieckmann, J. G. W. 1909, S. 66.

endlich 18 310 qm eigentliche Sandfilter. Die Reinigung der Kiesfilter geschieht durch Preßluft, die den Schlamm an die Oberfläche befördert, wo er abgespült wird.

In Antwerpen (18 000 cbm Tagesbedarf) soll Durchlauf*) durch hierbei verrostende **Eisenstücke** (die sich in einem Behälter von 100 cbm Inhalt befinden) mit folgender Lüftung eine Erhöhung der schließlichen Sandfiltergeschwindigkeit ermöglichen.

b. Filterbecken.

Filtersand darf nur Quarzkörner oder auch harte Silikate enthalten; er kann von Sandbänken, Dünen oder Flußbetten stammen. Einzelne größere Körner schaden nicht, kleinere lassen sich herauswaschen; zu viele kleine machen den Sand untauglich. Bezüglich seiner Durchlässigkeit vgl. I. Bd. S. 314 u. f. Unter Ungleichförmigkeit des Sandes versteht Hazen das Verhältnis des Durchmessers jenes Kornes, das den Sand in 60 vH feineren und 40 vH gröberen scheidet, zum wirksamen Korndurchmesser (der ihn in 10 vH feineren und 90 vH gröberen scheidet). Er untersuchte einige Filtersande und fand

Tafel der Filtersande.

Lage des Filters	Wirksamer Korndurchmesser mm	Ungleichförmig- keit
Berlin-Stralau. . .	0,33 bis 0,35	1,7 bis 1,9
Berlin-Tegel . . .	0,35 „ 0,38	1,5 „ 1,6
Berlin-Müggelsee	0,33 „ 0,35	1,8 „ 2,0
Magdeburg . . .	0,39 „ 0,40	2,0
Altona	0,32 „ 0,37	2,0 bis 2,8
Hamburg	0,28 „ 0,34	2,0 „ 2,5
Zürich	0,28 „ 0,30	3,1 „ 3,2

Dünensand hat nur 0,18 mm wirksamen Korndurchmesser.

Der Filtersand wird neu 0,6 bis 1,2 m hoch aufgeschüttet und, wenn zu oberst verstopft, 1,2 bis 3 cm tief abgeschält. Zeitweise ist die Schicht wieder zu ergänzen, so daß deren Dicke nicht unter 40 cm und keinesfalls unter 30 cm sinkt.**)

Der Filtersand wird durch Sand- und Kieslagen unterstützt. Damit keine obere Lage durch die tiefere riesele, darf deren Korn nicht mehr als dreimal so dick sein. Demnach kann z. B. ein Filter von 50 cm Dicke aus 5 cm Grobsand von etwa 2 mm mittlerem Korndurchmesser, 10 cm Feinkies von etwa 6 mm mittlerem Korndurchmesser, 10 cm Grobkies von etwa 15 mm mittlerem Korndurchmesser, 10 cm Grand (Schotter) von etwa 35 mm mittlerem Korndurchmesser und 15 cm Schotter oder Steinen bestehen. Bei sorgfältiger Schichtung sind noch seichtere Stüttschichten ausführbar. Auf der Filtersohle ruhen in etwa 1 bis 3 m Entfernung **Sammelstränge**, das sind Drainrohre oder kleine

*) Kemna, J. G. W. 1908 S. 160.

**) Grundsätze d. Kaiserl. Gesundheitsamtes zur Reinigung von Oberflächenwasser durch Filtration, J. G. W. 1899 S. 330; erläutert von Beer, J. G. W. 1900 S. 589, 613.

Ziegeldohlen mit rings offenen Fugen; nur wenn die Dohlen dem Grobkies sehr nahe liegen oder in ihn hineinreichen, ist es erforderlich, sie im Oberteil dicht zu machen. Der Druckverlust in den Drainrohren oder Dohlen soll viel kleiner als in der Filtersanlage sein, damit die Filtergeschwindigkeit allenthalben ziemlich gleich groß sei, also das Wasser gleichmäßig gereinigt werde. Der Druckverlust in 30 cm hoher Lage Filtersand von 0,35 mm wirksamem Korndurchmesser bei einer Filtergeschwindigkeit von 1 bis 2,5 m in 24 Stunden beträgt nur 2,5 bis 6 mm. Nach Hazen soll man bei 2,4 m Filtergeschwindigkeit ein

Drainrohr von	10	15	20	25	30 cm Durchmesser
höchstens	27	70	142	258	409 qm entwässern lassen.

Entlüftungsrohre an den Kopfen der Sammelstränge sind zwecklos, denn Filter sind unter allen Umständen von unten zu füllen, damit nicht Luftblasen Löcher reissen. Das Kaiserl. Gesundheitsamt verlangt, daß die Filtergeschwindigkeit 100 mm/st nicht übersteige. Größere Filtergeschwindigkeit kürzt die Betriebsdauer der Filter.

Die Sammelstränge münden in einen meist in der Filterachse liegenden, gemauerten **Hauptstrang**, in dem ebenfalls nur sehr geringer Druckverlust auftreten darf. Er kann in die oberen Stüttschichten sorgfältig gedichtet hineinragen oder — sicherer — in die Filtersohle versenkt sein. Die Sohle der Filter wird ähnlich wie bei Hochbehältern versichert; läßt man sie von den Sammelsträngen aus beiderseitig ansteigen, so braucht man weniger Schüttung für die unterste Lage.

Da Filtersand im Wasser unter 5facher Böschung hält, kann man an Unterstützungshöhe, z. B. durch Ersatz des Grobsandes und Kienes durch Backsteinlagen mit offenen Fugen (Filter von Muir), sparen.

In Europa pflegt man das Filterbett 0,9 bis 1,3 m hoch zu überstauen, wobei die Wassertiefe noch in dem Maße zunimmt, wie die Sandlagendicke abnimmt. Anstandslos verlaufene Versuche von Hazen mit nur 15 bis 30 cm Wassertiefe zeigten, daß Höhenersparnis statthaft wäre.

Da der Betrieb offener Filter leicht durch Frost und Algenbildung gestört wird, baut man heute meist gedeckte Filter. Die Eindeckung geschieht wie bei Hochbehältern (s. daselbst), nur bringt man verglaste Luken zur Erhellung während der Reinigungsarbeiten an. Offene Filter erhalten rings wasserdichte Böschung (Anlage etwa 1:2), weil Mauern durch den Schub einer Eisdecke leiden und die Entfernung des Eises erschweren.

Filtergeschwindigkeit im Mittel etwa 1,6 m in 24 Stunden; jedoch kommen auch wesentlich größere Geschwindigkeiten (Stuttgart, staatl. Werk 4,38, Barmen, Stauweiherwasser 4,94 m/Tag) vor. Ist die größte vorgesehene Filterdruckhöhe (= Filterdruckverlust) z. B. 1 m infolge Verschmutzung der Sandoberfläche erreicht, so muß gereinigt werden. Die Betriebsdauer eines Filters zwischen zwei Reinigungen beträgt i. M. 2 bis 6 Wochen, wechselt sehr und kann auf wenige Tage herabsinken.

Für die Fortschaffung des abgekratzten Sandes durch Schubkarren ist es zweckmäßig, eine schiefe Ebene auf Bogen vorzusehen und über diesem Karrgang die Decke entsprechend hoch zu machen.

Das Wasser muß in breiter Fläche ins Filter eintreten, so daß es den Sand nicht aufwühlt. Man muß imstande sein, jedem Filter Rein-

wasserproben zu entnehmen. Jedes Filter mufs von der Reinwasserleitung behufs Ausschaltung schlechten Wassers abgesperrt, vollständig entleert und von unten bis zur Sandoberfläche mit Reinwasser gefüllt werden können. Letzteres kann mittels einer eigenen, die Hauptsammler verbindenden Leitung geschehen. In der Regel soll man das nach einer Reinigung oder Ergänzung des Feinsandes gewonnene Wasser eine Zeit lang ablassen.

Bei Zusatz von Fällungsmitteln können **Schnellfilter***), wie das Jewell-**) oder das Warren-Filter genügen. Sie werden meist mit 4 bis 5 m/st Filtergeschwindigkeit betrieben und ermöglichen Platzersparnis gegenüber den üblichen Sandfiltern. Der Sand befindet sich in offenen Bottichen oder geschlossenen Kesseln, und die Reinigung geschieht, ohne dafs die Filterfläche betreten wird, wöchentlich ein- bis mehrmal täglich durch Auswaschen der ganzen Sandschicht unter Anwendung von Wasserdruck, häufig unter Mithilfe von Rührvorrichtungen. Bezüglich des Kröhnke-Filter, s. unten (Enteisung).

Platzersparnis bezwecken auch die Agga-Verbund-Filter***) der Aktiengesellschaft für Großfiltration in Worms, das sind Hohlzylinder aus Kunststoff, welche auf die Filterbeckensohle gestellt, mit Bohnenkies umgeben und noch 20 cm hoch mit Sand überschüttet werden. Das Wasser tritt durch den Filterstein in den Hohlraum und fließt durch Röhren ab; zur Reinigung der Filter wird rückgespült.

c. Enteisung.

Das Grundwasser der norddeutschen Tiefebene enthält kohlenstoffsaures und humusartiges Eisenoxydul, so dafs Anlagen mit Grundwasser von 2 bis 4 mg/l häufig, selbst solche für 20 mg/l ausgeführt sind. Das Eisen fällt aus, wenn die löslichen Oxydulsalze durch den Sauerstoff der Luft oxydiert werden. Die Eisenausscheidung wird durch Kohlensäure verzögert, durch Kalk beschleunigt. Ein eingearbeitetes, also mit Eisenhydroxyd durchsetztes Filter wirkt besser als ein neues. Das an organische Stoffe gebundene Eisen ist das schwieriger zu entfernen.†)

1. **Verfahren von Piefke.††)** Das Rohwasser wird zwecks Lüftung im Riesler (Lüfter) über eine etwa 3 m hohe, auf einem Eisenrost ruhende Koksschicht verteilt, wobei ohne die Reservefläche stündlich 2 bis höchstens 7 cbm auf 1 qm Grundfläche kommen. Verteilung durch Streudüsen oder durch Rinnen; die Rinnen geben das Wasser auf Wellbleche auf, die in den Tälern und Bergen (Reserve) gelocht und umrandet sind. Bei der Feststellung des Verteilerquerschnittes und der Höhe der Blechränder, ist zu berücksichtigen, dafs bei manchen Anlagen der Koks vom Eisenschlamm durch Spülen befreit wird, wobei man so viel Wasser durch eine Verteilrinne laufen läßt, wie sonst durch 4 bis 6. Spülen etwa zweimal wöchentlich, andernfalls wird etwa jährlich der

*) Gerhard, Gesundheits Ing. 1900 S. 205 u. Fortsetzungen.

**) Z. ö. I. u. A.-V. 1906 S. 228 (Triest); J. G. W. 1907 S. 417 (Alexandria), S. 546 (Damiette); Schreiber, Mitteil. d. K. Prüf.-Anstalt f. Wasservers. u. Abwässerbes. 1906, Nr. 6.

***) Gesundheits-Ing. 1903 S. 221; J. G. W. 1905 S. 1112.

†) Schmidt u. K. Bunte, Ueb. d. Vorgänge bei der Enteisung, J. G. W. 1903 S. 481, 503.

††) Wellmann (Beelitzhof), J. G. W. 1894 S. 597; Pippig (Kiel), J. G. W. 1896 S. 650; Prinz (Oranienburg, Forst i. L., Lichtenberg, Wildau), J. G. W. 1902 S. 149, 163, 183, 941.

tiefer befindliche und daher stärker verschlammte Koks entfernt (wofür eine Tür vorzusehen ist), gewaschen und später verfeuert, oder es wird der Koks einige Jahre belassen und dann weggeschüttet.

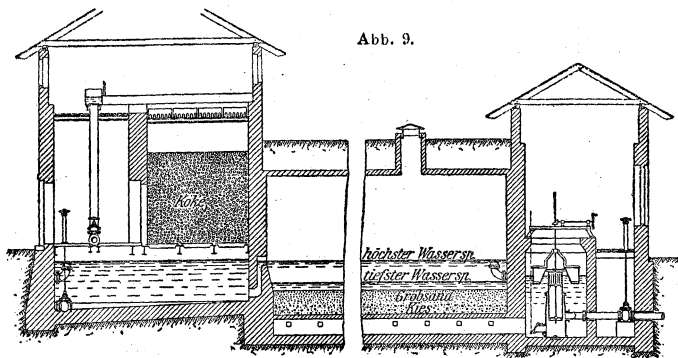


Abb. 9.

Häufig wird (Charlottenburg) statt der Koks eine Backsteinpackung benutzt, deren Steine, falls sie im Laufe der Jahre trotz häufiger Spülung verschlammten, herausgenommen, mit einem Blech abgeschabt und abgespült werden. Endlich wird (Tegel, Friedrichshagen) vielfach über Holzhorden (Patent Zschocke), d. i. über sich kreuzende Packe aus Brettern, die auf schmale Kante stehen, gerieselt. (Man stapelt etwa 30 Packe zu je 10 cm Höhe aufeinander.) Die Bretter lassen sich durch Flacheisen ersetzen. Umgeben sind die Horden von Gittern aus schräg gelegten Brettern, so daß durch die Spalten Luft treten kann und verspritztes Wasser in den Riesler zurückläuft.

Vom Riesler tropft das Wasser in ein Absatzbecken (Rieslersumpf), wo es einige Stunden verweilt und den größten Teil des Eisens absetzt, für dessen bequeme Fortschaffung durch eine von der tiefsten Sohlenstelle ausgehende Dohle zu sorgen ist. Ein Ueberfall (Trompete mit anschließendem Rohr) bringt das eisenarme Wasser auf ein Filter, wo die Enteisung, soweit sie bei dem betreffenden Wasser überhaupt durchführbar ist, vollendet wird. Am einfachsten ist es, das Filter als Grobfilter mit Kies von 1 bis 4 mm dicken Körnern zu gestalten, das so wie ein gewöhnliches Sandfilter entwässert, aber nach Abhub von 1 oder mehr cm Kies durch Rückspülung mit Reinwasser gereinigt wird. Daher liege der Spiegel im Reinwasserbehälter zwischen dem Rohwasserspiegel und der Kiesoberfläche. Die Filtergeschwindigkeit wählt man meist zu $\frac{1}{3}$ bis 1 m/st.

Statt der Filter üblicher Bauart werden häufig Kröhnke-Filter*) benutzt, bei denen sich der Sand in einer liegenden Trommel befindet.

*) Zeitschr. f. angewandte Chemie 1900, Heft 46; J. G. W. 1906 S. 12.

Durch die Lagerzapfen fließt das Wasser zu und ab, und das Waschen des verschmutzten Sandes erfolgt mittels Gegenstromes bei gleichzeitiger Drehung der Trommel.

2. **Das Verfahren von Oesten** ist für kleinere Ortschaften geeignet, weil es nur eine einmalige Hebung des Wassers erfordert. Es fällt etwa 3 m hoch aus Brausen auf den Spiegel des Behälters. In die Fallleitung des letzteren ist bei den neueren Ausführungen¹⁾ als geschlossener Teil ein Filter mit einer 30 cm hohen Schicht Kies von einheitlichem Korn (gewöhnlich Graupenkies) eingeschaltet, Filtergeschwindigkeit etwa 1 m/st. Wenn der Druckverlust nach je einigen Wochen im Filter auf 20 bis 40 cm gestiegen ist, wird durch Rückspülung gereinigt. Auch die Brausen müssen nach achttägigem oder mehrwöchentlichem Betrieb wieder gereinigt werden.

3. **Deseniss & Jacobi**, A.-G. in Hamburg, lüften bei Kleinanlagen, indem sie²⁾ mit ihren „Bastardpumpen“ mit dem Wasser zugleich Luft in das Filter fördern, welches durch Rückspülung zu reinigen ist.

4. Für einzelne Gebäude genügt es nach **Dunbar**,³⁾ zwecks Lüftung das Filter über Nacht leer stehen zu lassen und durch Rückspülen zu reinigen.

5. Die G. m. b. H. **Halvor Breda**⁴⁾ in Charlottenburg verteilt bei ihrer geschlossenen Vorrichtung das unter Druck stehende Wasser nebst eingeblasener Prefsluft von einem kleinen Mischkessel aus, in welchem Stößplatten durch Wirbel innige Mischung bewirken sollen, auf einige stehende Walzenkessel, in denen das Wasser durch poröse, vulkanische Steine aufsteigt. Die überschüssige Luft entweicht in jedem dieser Behälter durch ein oben angebrachtes Entlüftungsventil, während das Wasser durch ein Ueberlaufrohr auf ein im unteren Teil des Behälters befindliches Sandfilter fließt. Die Spülung geschieht mit Reinwasser, u. zw. abwärts in den Steinen, aufwärts im Sand, den man zugleich mit einem Rührwerk umrührt.

Weitere Verfahren rühren von v. d. Linde und Hefs⁵⁾, Bock⁶⁾ und anderen her.⁷⁾

6. Bei der Enteisenung fällt auch **Mangan** aus. Ein sicheres Verfahren zur Entfernung des Mangans gibt es jedoch nicht.⁸⁾

d. Weichmachen.

Hartes Trinkwasser wird nach dem Verfahren von Clarke und Atkins in einigen englischen Städten durch Kalkzusatz weich gemacht. Weichmachen von Kesselspeisewasser (s. II. Bd., Abschn. Dampfkessel, S. 68).

1) Z. V. d. I. 1906 S. 1114; J. G. W. 1906 S. 481.

2) D. R. P. 180687.

3) Lübbert, Deutsche Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspflege, 1905 S. 581.

4) Vegesack: Wagner, J. G. W. 1903 S. 55.

5) München-Gladbach: J. G. W. 1898 S. 730.

6) Hannover: J. G. W. 1904 S. 737, 1104.

7) Többen, Gesundheits-Ing. 1907 S. 745, 761.

8) Manganschwierigkeit in Breslau: Lührig, Gesundh.-Ing. 1908 S. 629, 645; Debusmann, J. G. W. 1908 S. 963, 990.

E. Sammlung. (Hochbehälter.)

1. **Allgemeines.** Der Behälter (Verteilungsbehälter, Ausgleichbehälter, Reinwasserbehälter) muß sowohl bei gleichmäßigem 24-stündigen Pumpen zur Mithülfe bei Tag, als auch bei 8 $\frac{1}{2}$ -stündigem Pumpenstillstande zur Aushülfe in der Nacht ungefähr 18 vH des grössten oder 30 vH des mittleren Tagesverbrauches, vermehrt um den Löschbedarf von 150 bis 300 cbm, fassen. Bei langer Quelleitung soll der Behälter Ausbesserungen wegen den ganzen Tagesverbrauch fassen können. Trinkwasserbehälter sind stets einzudecken. Die Rohrnetze werden bei ebener Stadt am billigsten, wenn man die Behälter ungefähr in die Schwerpunkte der Bezirke legt, für die sie bestimmt sind. Der Bodengestalt und Grunderwerbskosten wegen tut man dies jedoch nur selten. Nähe am Pumpwerk erleichtert die Aufsicht. Ein Endbehälter auf der der Gewinnungsstelle abgewendeten Stadtseite (Gegenbehälter genannt, wenn außerdem ein Behälter auf der Gewinnungsseite) bewirkt aber gleichmäßigere Druckverteilung während starken Verbrauches. Große Städte erhalten am besten mehrere Behälter.

Wo Anhöhen vorhanden sind, werden die Behälter mehr oder weniger in den Boden versenkt (Wasserkeller), andernfalls auf Gerüste oder Türme gesetzt (Wassertürme).

2. Für **gemauerte Behälter** (Abb. 10 u. 11) ist Gleichmäßigkeit, Festigkeit und Undurchlässigkeit des Untergrundes wichtig. Sie erhalten 2,5 bis 5 m Wassertiefe und mit Rücksicht auf die Decke meist rechtwinkligen Grundriss. Dieser ist bei einer Kammer und wagemrechtem Grund am besten quadratisch, bei zwei Kammern, damit die Zwischenmauer kürzer ausfalle, 1 $\frac{1}{2}$ mal so lang als breit. Der Umfang kommt bei einfacher Kammer am billigsten, wenn er einen Vollkreis bildet; bei zwei Kammern, wenn zwei Hufeisenkreisbogen untereinander und mit der geraden Zwischenmauer Winkel von ungefähr 120° einschließen. Die Wände werden aus Ziegeln oder Bruchsteinen in hydraulischem (meist Zement-) Mörtel gemauert oder aus Beton gestampft. Innerer Zementputz (aus 1 R.-T. Portlandzement, 1 $\frac{1}{2}$ bis 2 $\frac{1}{2}$ Sand, auch wohl, falls der Sand wenig feines Korn enthält, mit Zusatz von 0,1 Fettkalk als Kalkmilch) ist in mehreren, zusammen 1 bis 2 cm starken Lagen mindestens bis über Wasserspiegel anzuwenden. Er erhöht die Wasserdichtheit und erschwert, weil glatt, den Pflanzenansatz. Lehmschlag hinter den Wänden wird häufig angewendet. Die Wände müssen bei leerem Behälter dem Erddruck, und namentlich bei gefülltem dem Wasserdruck sowie etwaigem Gewölbeschube widerstehen. Bei beiden Belastungsarten muß die Stützlinie im inneren Drittel (Kern) der Mauer bleiben. Eine mittlere Wandstärke = $\frac{1}{3}$ der Höhe genügt. Zylindrische Behälter erhalten bei 1,5 m Dmr. $\frac{1}{2}$ Stein, bei 1,5 bis 3 m Dmr. 1 Stein, bei 3 bis 4,5 m Dmr. 1 $\frac{1}{2}$ Stein starke Wandung. Zwischenmauern müssen einseitigem Wasserdruck und je nach dem Bauvorgange auch einseitigem Gewölbeschube oder dem Unterschiede des beiderseitigen Gewölbeschubes bei einseitiger Ueberschüttung widerstehen. Für die Einwölbung sind Tonnengewölbe (preussische Kappen) über Gurtbogen, die auf

Pfeilern ruhen, das einfachste. Mitunter werden auch böhmische Kappen angewandt.

Statt Gurtbogen kann man Eisenträger, statt Ziegel- oder Steinfleiler Gußeisensäulen anwenden, die weniger als Schmiedeisensäulen rosten. Kleinere zylindrische Behälter deckt man mit Kuppeln ab. Ziegelgewölbe erhalten eine wasserdichte Abdeckung von 1 bis 2 cm Zementmörtel oder Zementmörtel und darüber etwa 15 cm Lehm Schlag oder 1 bis 1,5 cm Asphalt oder Asphaltpappe, deren Fugen man mit Asphalt dichtet, oder Asphaltfilzplatten u. dgl.; Betongewölbe meist Zementputz (etwa 1 cm aus 1 R.-T. Portlandzement und 3 R.-T. Sand). Ueber die Abdeckung kommt Erde. Damit der Frost nicht bis zum Gewölbe dringe, genügen 0,9 bis 1,2 m Erde. Damit Rasen gedeihe, der das Eindringen der Außentemperatur sehr vermindert, sind 30 cm Erde nötig. Zum Schutze des Wassers vor Erwärmung genügen 30 bis 40 cm Erde mit Rasen. Man kann selbst, wie bei Eisenbehältern,

Abb. 10.

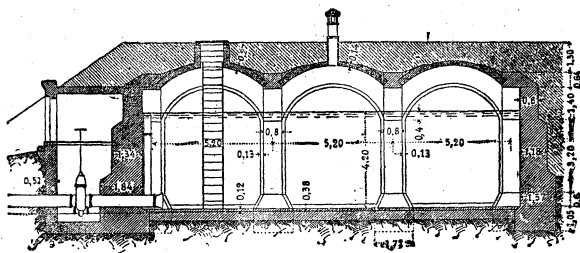
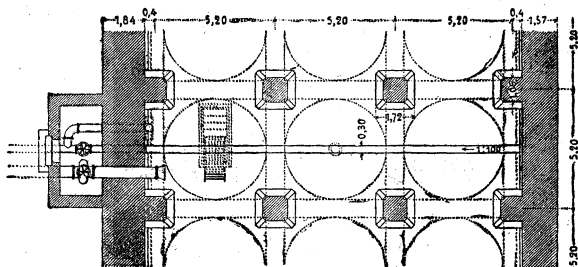


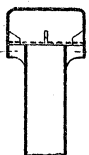
Abb. 11.



dünnere Decken anwenden, z. B. Holzzement auf Ziegel- oder Schwemmsteinkappen mit 10 cm Kiesdeckung. Die Behältersohle wird bei Erduntergrund mit einer 40 bis 60 cm starken Schicht aus Zement- oder Traßbeton oder Ziegel oder Beton in Verbindung mit Ziegellagen versichert und erhält eine Zementputzschicht, seltener Asphalt. Der Putz oder Asphaltguß kann zu oberst oder zum Schutze gegen äußere Verletzung unter Ziegelpflaster liegen. Grundbetten aus Lehm Schlag

sind in England beliebt. Bei nachgiebigem Untergrund ist die Sohle gewölbeartig auszubilden, so daß sie sich nicht ungleichmäßig setzen kann. Der Boden muß sich reinigen lassen, darf also nicht einzelne Vertiefungen enthalten. Dagegen ist schwaches Gefälle nach der vertieften Stelle (Sumpf) am Entleerungsrohr oder am Auslaufrohr, wenn dieses zugleich zum Entleeren dient, zweckmäßig. Zum Entweichen der Luft beim Füllen sind Oeffnungen mit gemauerten Schloten oder gußeisernen (mit eingegletem Metallgewebe, Abb. 12), auch wohl tönernen Aufsätzen, die das Eindringen von Tieren hindern, anzubringen.

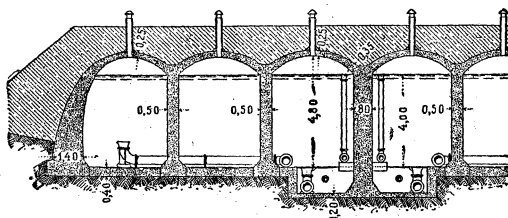
Abb. 12.



Einsteigöffnungen, durch die kein Tagewasser einlaufen kann, auch wohl Steigeisen, feste Leitern oder Treppen sind vorzusehen. Jede Kammer enthält ferner einen Zulauf, einen Ablauf, einen Ueberlauf, einen Schwimmer oder sonstigen Wasserstandanzeiger, oft mit elektrischer Fernleitung, und eine meist den Ueberlauf aufnehmende oder (vielleicht entfernt vom Behälter) vom Ablauf abzweigende Entleerung. Zu- und Ablauf auf entgegengesetzten Seiten verhindern Wasserstillstand mit erhöhter Bakterienvermehrung. Treten daher Zulauf- (Speise-, Steig-)rohr und Ablauf- (Entnahme-, Fall-)rohr an gleicher Stelle ein, so verlängere man eines der Rohre bis zur entgegengesetzten Wand. Auch kann ein einziger Strang bis zum Behälter führen und sich hier in einen über dem Wasserspiegel mündenden Zulauf und in ein Ablaufrohr mit einer Rückschlagklappe gabeln. Bei Quellwasserbehältern erfolge der Einlauf von oben, damit nicht das wärmere*) Oberflächenwasser stagniere. Die Zulauf-, Ablauf- und Entleerschieber stellt man bei billigen, kleinen Anlagen ins Wasser oder an geeigneten Leitungsstellen in die Erde, auch wohl in Schächte; bei größeren in eine gemeinschaftliche, wasserdichte, zugängliche Schieberkammer (Schieberkeller). Sind mehrere Behälter ungleicher Höhenlage vorhanden, so ist bei den tiefer gelegenen durch selbsttätige Schwimmerventile dafür zu sorgen, daß der Zulauf aufhört, wenn der betreffende Behälter gefüllt ist.

3. Für in die Erde versenkte **Stampfbetonbehälter** ohne Eisen-

Abb. 13.

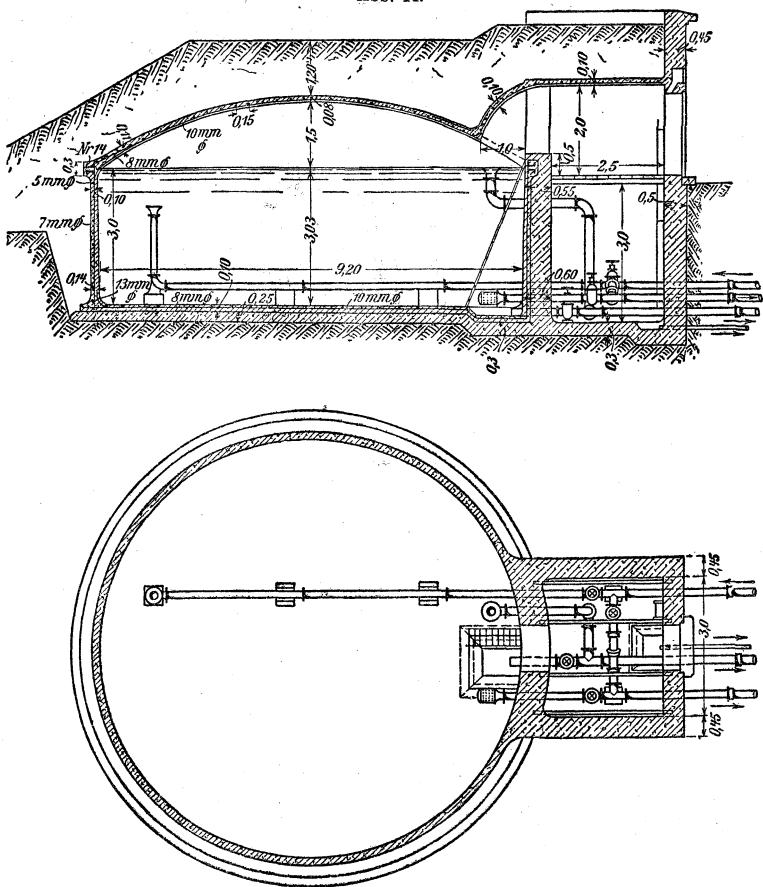


einlagen (Abb. 13) gelten dieselben Regeln wie für gemauerte, nur daß bei ihnen Kuppeln der schwierigen Schalung wegen zu teuer sind.

*) v. Böhmer, Gesundh.-Ing. 1904 S. 486.

Am gebräuchlichsten sind heute Behälter aus Eisenbeton.*) Bei kreisförmigem Grundriss empfehlen sich bei ihnen Kuppeln

Abb. 14.

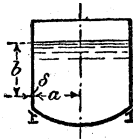


(Abb. 14), bei rechteckigem Tonnengewölbe und Balkendecken (s. Abb. 15).

*) Eisenbeton, s. I. Bd. S. 602.

(D. R. P. 23 187 und 24 951), weil dies weniger Unterstützungsmauerwerk und Maueransichtfläche erfordert, mit stützendem Kegelfboden und Gegenboden.

Abb. 16.



Bezeichnet (Abb. 16)

a den Trommelhalbmesser in cm,

b die Tiefe unter der Wasseroberfläche in cm,

δ die Blechedicke in cm,

so ist in der Tiefe b die Beanspruchung des vollen

Trommelblechs $\frac{ab}{1000 \delta}$ kg/qcm.

In den Nietreihen ist die Beanspruchung entsprechend stärker. Sind die lotrechten Stöße nicht mit Doppellaschen überdeckt, so entstehen überdies Nebenspannungen.

Bezeichnet (Abb. 17 u. 18)

G den lotrechten Gesamtdruck in kg, den das Wasser auf den Boden außerhalb eines Parallelkreises vom Halbmesser x (in cm)

des Aufsenbodens bzw. innerhalb eines Parallelkreises des Innenbodens ausübt (also das Gewicht in kg der Wassermasse, die außerhalb bzw. innerhalb jenes Kreises aufrucht), ferner

Abb. 17.

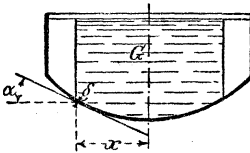
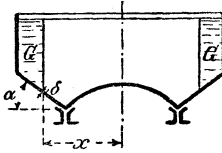


Abb. 18.



α den Neigungswinkel des Bodens im Umfang dieses Kreises,

Abb. 19.

so ist die Inanspruchnahme des vollen Bleches in Richtung der stärksten Neigung

$$\sigma = \frac{G}{2 \pi x \delta \sin \alpha} \text{ kg/qcm.}$$

Bezeichnet ferner (Abb. 19)

τ die Zugspannung des vollen Bleches in wagerechter Richtung in kg/qcm,

z die Tiefe unter der Wasseroberfläche in cm,

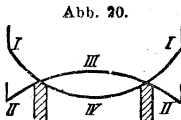
r den Krümmungshalbmesser des Meridians in cm,

n die Länge der zum Boden Normalen zwischen ihm und der Behälterachse in cm,

so ist

$$\pm \frac{\sigma}{r} + \frac{\tau}{n} = \frac{z}{1000 \delta},$$

dabei ist (Abb. 20)



für die Böden

das Vorzeichen von

und bedeutet

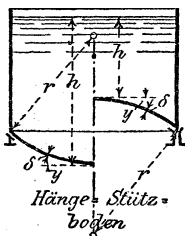
	I	II	III	IV
$\frac{\sigma}{r}$	—	—	+	+
σ	Druck	Zug	Druck	Zug
τ	Zug	Druck	Druck	Zug

Hiernach findet sich (Abb. 21) für nicht unterbrochene Kugellinnenböden, für die $r=n$ ist, wenn h den Höhenabstand des Spiegels und y den eines beliebigen Bodenpunktes vom Bodenmittelpunkte in cm bedeutet,

$$\sigma = \frac{r}{2000\delta} \left(h \pm \frac{y}{3} \cdot \frac{3r-2y}{2r-y} \right); \quad \tau = \frac{r}{2000\delta} \left(h \pm \frac{y}{3} \cdot \frac{9r-4y}{2r-y} \right),$$

wobei sich $+$ auf Stützböden, $-$ auf Hängeböden bezieht. Hiernach ist bei Kugellinnenstützböden τ und bei Kugellinnenhängeböden σ die größere, also die für die Wahl der Blechstärke δ maßgebende Spannung. Ferner nehmen bei ersteren σ und τ gegen die Mitte ab, bei letzteren gegen die Mitte zu, wo sie den Wert

Abb. 21.



$$\sigma = \tau = \frac{rh}{2000\delta}$$

annehmen. Auch kann bei kleinem h bei Hängeböden τ negativ werden, d. h. gegen den Rand hin in Druck übergehen. Bei hängender Halbkugel geschieht das für $h < \frac{5}{3}r$.

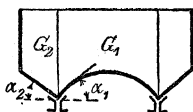
Für Kegelböden ist $r = \infty$ und

$$\tau = \frac{nz}{1000\delta} = \frac{xz}{1000\delta \sin \alpha}.$$

Innere Stützböden, ob Kugeln oder Kegel bildend, erfordern, weil sowohl σ als auch τ Drücke darstellen, Aussteifung gegen Einbeulen.

Auf dem Mauerwerk lagern die Bottiche mittels eines am besten schmiedeeisernen Druckringes (Auflagering) oder sie hängen bei Ausbildung nach Abb. 19 an lotrechten Stützen, die durch zwei Ringe verbunden sind. Denkt man sich über dem Druckring einen lotrechten Zylinder errichtet und bezeichnet man das Gewicht der Wassermasse innerhalb desselben mit G_1 und das außerhalb mit G_2 (in kg), ferner die Winkel, unter denen am Druckringe der Boden geneigt ist, mit α_1 und α_2 , so ist die im Druckringe wirkende (in kg ausgedrückte) Kraft P (also das Produkt aus Druckbeanspruchung und nutzbarem Querschnitt des Ringes) bei Hängeböden:

Abb. 22.



$$P = G_1 \frac{\text{ctg } \alpha_1}{2\pi}$$

und bei Intzeschen Bottichen (Abb. 22):

$$P = \frac{1}{2\pi} (G_2 \text{ctg } \alpha_2 - G_1 \text{ctg } \alpha_1).$$

Man baut letztere so, daß bei vollem Behälter $G_2 \text{ctg } \alpha_2$ nahezu $= G_1 \text{ctg } \alpha_1$ wird. Damit ein Druckring vom Halbmesser r (in cm) nicht einbeule, muß nach Boussinesq*) $P < \frac{3}{8} \frac{EJ}{r^2}$ sein, worin J das

*) Comptes rendus 97, 1883 S. 843, 1131,

Trägheitsmoment in bezug auf die lotrechte Schwerachse des Ringquerschnittes in cm^4 , u. zw. auch wenn diese keine Querschnittshauptachse ist, S den Sicherheitsgrad und E den Elastizitätsmodul in kg/qcm bedeutet.

Mit Rücksicht auf Rost mache man die Bleche mindestens 5 mm dick. Der Einbau eines Treppenzylinders erhöht die Spannung im Durchdringungskreise beinahe auf das Doppelte. Man kann ein bis zum Wasserspiegel reichendes Steigrohr samt einem vom oder nahezu vom tiefsten Punkte ausgehenden Fallrohr anwenden, oder ein gemeinschaftliches Steig- und Fallrohr.*) Ein Ueberlauf mit Wasserspeier oder Abfallrohr ist vorzusehen. Einfache Steigrohre (Standrohre) als Druckregler veranlassen häufig Ueberlaufen; Windkessel sind vorzuziehen. Als Wärmeschutz genügt eine leichte Ummantelung auf Eisen- (bei geringfügigen Anlagen auch wohl Holz-)konsolen.

Das Gewicht ausgeführter Wasserbehälter beträgt auf 1 cbm Inhalt bei Ausführung mit Hängeboden 45 bis 80 kg, i. M. 60 kg; bei Ausführung mit Stütz- und Gegenboden 40 bis 60 kg, i. M. 50 kg.

Musterblätter mit Itze-Bottichen sind für Eisenbahnwassertürme entworfen, die für Stadtversorgungen gleichfalls geeignet sind. Ihre Auflager liegen 9 bis 10,5 m über Erdboden.

Die Bottiche ruhen meist auf Mauerwerk, das auf Druck und Biegung des Turmes durch Winddruck (150 bis 200 kg auf 1 qm Anschnittfläche) zu berechnen ist. Bei Ersatz des Mauerwerks durch Eisenrüstung ist überdies die Verankerung bei leerem Behälter zu berechnen.

Ringförmige Behälter mit Stützböden kann man an Schornsteinen anbringen; sie wiegen nach F. A. Neuman in Eschweiler bei einem Inhalt von

10	20	30	40	60	80	100	150	200 cbm
3,7	5,2	6,9	8,5	11,3	13,6	15,8	21,0	26,0 t.

5. Wassertürme in Eisenbeton**) zeigen entweder die Formen des Itze-Behälters oder einen runden Bottich oder viereckigen Kasten, der auf Eisenbetonbalken ruht. Diese können parallel liegen oder auch als Haupt- und Querbalken angeordnet sein.

F. Wasserverteilung.

a. Hauptzuleitung.

Kostet die Verzinsung und Abschreibung eines Stranges vom Durchmesser D m den Betrag $k_1 D M$ und die Metertonne Arbeit zum Betriebe einschl. der auf sie entfallenden Verzinsung und Abschreibung der Pumpen $k_2 M$, und ist die Betriebshäufigkeit, nämlich das Verhältnis der jährlichen Betriebsstunden zur Stundenzahl des Jahres $= \beta$, so soll der vom Pumpwerk ausgehende Druckstrang, soweit er unverzweigt ist,

*) Einschaltbare Kupferfederrohre s. Abschn. Maschinenteile, S. 970.

**) v. Emperger, Handbuch für Eisenbetonbau V. Bd. 2. Aufl. Berlin 1910, Wilhelm Ernst & Sohn.

einen solchen Durchmesser erhalten, daß während des Betriebes die sekundliche Strömungsgeschwindigkeit $v = 0,0175 \sqrt[3]{k_1 : \beta k_2} = \frac{0,5 \text{ bis } 0,6}{\sqrt[3]{\beta}}$

herrscht, also v z. B. für durchschnittlich 20 tägliche Betriebsstunden 0,58 m/sk und für durchschnittlich 12 tägliche Betriebsstunden 0,69 m/sk beträgt. Diese Geschwindigkeit bleibt auch, wenn Abzweigungen vorhanden sind, am vorteilhaftesten, falls die Rohrweite des Hauptstranges die Nebenstrangweiten nicht beeinflusst.

Bei Zuleitungen unter Gefälle soll nirgends Luft oder Grundwasser eingesaugt werden können.

b. Entwurf des Rohrnetzes.

Rohrnetze*) sind als Umlaufnetze zu bauen, weil sie bei gleichen Kosten bei Bränden mehr als verästelte leisten, bei ihnen tote Enden mit warmem Wasser und Niederschlägen möglichst vermieden sind und Rohrabsperungen wenig stören.

1. Grundrifs. Für den Entwurf nehme man das Netz verästelt an und verbinde schließlic die Zweigenden. Man führe die Hauptstränge bis zu den Schwerpunkten der durch sie zu versorgenden Stadtteile, spalte sie hier in zwei Stränge zweiten Ranges, die miteinander Winkel von 90 bis 120° einschließen, spalte die Stränge zweiten Ranges in gleicher Weise in den Schwerpunkten ihrer Bezirke usf. Ein von einem Punkte einer durchgehenden geraden Leitung abzweigender Nebenstrang soll mit ihr einen Winkel von 65 bis 90°, und zwei nach entgegengesetzter Seite abzweigende Nebenstränge sollen mit ihr Winkel von 70 bis 90° einschließen. Natürlich läßt der Stadtgrundrifs die Durchführung dieser Regeln nur unvollständig zu. Nach den am schwierigsten zu versorgenden Stellen ist das Wasser auf möglichst kurzem Wege zu führen. Bei welliger Oberfläche lege man die Hauptstränge daher in die hohen Strafen.

2. Rohrweiten. Nachdem der Grundrifs des Netzes festgelegt ist, kennt man an jeder Stelle die von der Seelenzahl, einzelnen Fabriken usw. abhängige Durchflußmenge q_a cbm zur Zeit größten Verbrauches (etwa am heißesten Sommernachmittage). Zur ihr kann bei einem Brande der Verbrauch q_b zum Löschen treten. Man nehme zunächst an, daß der Brand an der am schwierigsten zu versorgenden Stelle, also am Ende des Hauptstranges stattfinde, dann ist, wenn dort noch ein Druck f (in m) herrschen und der Druckverlust auf 1 m Rohr (das Gefälle) vom Anfang bis zum Ende des Rohres gleich groß sein soll, ferner der freie Wasserspiegel am Hauptrohranfang (z. B. der Quelle) die Höhe H_0 über dem Meer, das Rohrende die Meereshöhe h_1 und der Strang die Länge l_1 hat (Abb. 23), das Gefälle $= \frac{H_0 - h_1 - f}{l_1}$, und

man kann die (vom Anfang gegen das Ende hin abnehmenden) Rohrweiten berechnen.**). An einer l_{12} m vom Anfange des ersten Rohres entfernten Stelle zweige das nächstwichtige oder zweite Rohr vom

*) Forchheimer, Z. d. V. d. L. 1889 S. 365; 1890 S. 679.

**) Formeln von Weisbach, Darcy u. H. Lang, I. Bd. S. 293.

ersten ab. Nimmt man nun an, daß der Brand am Ende des zweiten Rohres stattfindet, und muß jetzt am Ende des zweiten Stranges die Druckhöhe f herrschen, so ist das Gefälle bis zu Ende des zweiten

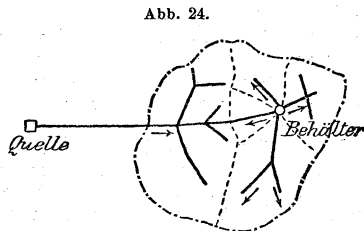
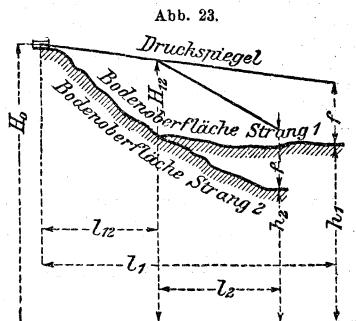
Stranges $= \frac{H_{12} - h_2 - f}{l_2}$, so

daß man auch den Durchmesser des zweiten Stranges ermitteln kann. Zweigt an einer Stelle des zweiten Stranges ein dritter ab, so führt das nämliche Verfahren auch für diesen zum Ziele usw. — Bei Bränden an einem Punkte eines Verbindungsstranges kann das Löschwasser von zwei Seiten zuströmen; es genügt also, wenn von jeder Seite $\frac{1}{2} q_b$ cbm zufließt. Da der Brand nahe an einem der Abzweigpunkte sein kann, berechne man das Verbindungsrohr so, als ob es auf die ganze Länge von $\frac{1}{2} q_b$ cbm, vermehrt um das Verbrauchswasser der Anwohner durchströmt würde. Liegt der Verbindungsstrang im Gefälle, so kann es vorteilhaft sein anzunehmen, daß das Wasser in ihm stets nur bergab laufe.

Wenn das Hauptrohr von der Pumpe ausgeht, mache man die mittlere sekundliche Geschwindigkeit während der Betriebsstunden des ganzen Jahres (s. S. 729) $= \frac{0,5 \text{ bis } 0,6}{\sqrt[3]{\beta}}$. Hiernach ist der Hauptrohr-

durchmesser und das Druckgefälle bei jeder Durchflußmenge, also auch bei größtem Sommernachmittags- und Löschwasserverbrauch, gegeben. Das Druckgefälle betrage dann α_1 . Am H_1 m über Meer gelegenen Ende des ersten Rohres von der Länge l_1 m muß dabei der Druckspiegel $H_1 + f$ m über Meer liegen, wenn f wieder den erforderlichen Betriebsdruck in m Wassersäule bedeutet. Hiernach zeigt sich, daß an der Pumpe zur Zeit größten Verbrauches bei Feuer der Druckspiegel $H_1 + f + \alpha_1 l_1$ über Meer zu liegen hat. Da nunmehr der Druck im ersten Rohr bekannt ist, kann die Ermittlung der übrigen Rohrweiten, wie vorher geschildert, erfolgen.

Liegt ein Behälter auf der von der Bezugsquelle abgekehrten Seite im Rohrnetz oder jenseits desselben (Abb. 24), so wird der Behälterspeisestrang nur bei Nacht in ganzer Länge in der Richtung von der Quelle oder Pumpe zum Behälter durchflossen, während bei Tage in der Behälternähe



das Wasser zurückläuft, so daß der grössere Stadtteil von der Quelle (Pumpe), mehrere kleine aber vom Behälter gespeist werden. Jedes Teilnetz kann für sich berechnet werden. Der Speisestrang muß während der Nacht bei grossem Sommerverbrauche den Behälter füllen können.

Beträgt die mittlere tägliche Wasserabgabe bei Eröffnung eines Wasserwerks voraussichtlich a cbm und nach x Jahren $a + bx$ cbm, so sind den Rohren solche Weiten zu geben, als ob die Abgabe unveränderlich und $= a + bn$ wäre. Für die Zahl n gilt nachstehende Tafel:

Tafel der Werte von n .

Zinsfuß in Prozenten	Zufluß unter natürl. Druck			Künstliche Hebung		
	$a : b = 0$	10	20	0	10	20
4	42	46	50	31	33	34
5	34	38	41	24	26	27
6	29	33	36	20	22	23

3. Die Reibungshöhen (Druckhöhenverluste, Widerstandshöhen, verlorene Druckhöhen) sind I. Bd. S. 287 u. f. angegeben. Man wähle die im Handel vorkommenden Lichtweiten der Rohre.

4. In Zonen (Höhenzonen) mit voneinander unabhängigen Netzen ist die Stadt zu zerlegen, wenn sonst Drücke über 80 m aufträten, welche die Hausleitungen verteuern würden. Bei künstlicher Hebung empfiehlt sich mit Rücksicht auf die Hebungskosten schon die Teilung in Zonen von etwa 30 bis 50 m Höhe. Jede Zone bekommt ihren eigenen Behälter.

c. Rohrnetzeinheiten.)*

1. Als Rohre**) benutzt man bei Drücken unter 10 at meist asphaltierte oder (falls man nicht nachteilige Wirkung auf den Geschmack fürchtet) geteerte Gufseisenrohre mit normalen Muffen, s. I. Bd., 6. Abschn., VII, seltener asphaltierte und mit asphaltierten Jutestreifen bekleidete schmiedeiserne Rohre. Bei Drücken über 10 at empfiehlt es sich, bei Gufsröhren die Muffen ganz oder teilweise nach dem freien Ende zu verjüngen, auch wohl mit einer Nute zu versehen, bei Mannesmannrohren hart aufgelötete und verstemte ineinandergreifende Bunde mit losen glatten Flanschen zu verwenden. Gufsröhre sind bei der Verfrachtung und Verlegung besonders bei Frost sorgfältig zu behandeln. Für gleichmäßige Unterstützung der Stränge ist zu sorgen. Ihre Unterbettung mit etwa 15 cm Sand oder Kies ist bei Verlegung auf Fels häufig. Auch Betonsohlen mit Sandbett sind angewendet worden. Pfähle sind unter Grundwasser zulässig. In beweglichem

*) O. Lueger unter Mitw. v. E. Fischer, Wasserversorgung der Städte, 2. Abt. 1908, Leipzig, Alfred Kröner Verl.

**) I. Bd. S. 962 f. Formstücke: I. Bd. S. 958; Mannesmannrohre: I. Bd. S. 968; Betonrohre: I. Bd. S. 601.

Boden*) verwendet man schmiedeiserne Rohre, oder man versieht die Gußrohre gewöhnlicher Muffe mit einem Gummiring, der frei etwa die doppelte Fugenstärke zum Durchmesser hat.

2. Richtungsänderungen eines Gußstranges werden mittels Krümmer (K-Stücken) hergestellt.

3. Zum Anschluß der Nebenstränge an die Hauptstränge kann man Abzweige mit verschieden weiten Abzweigstutzen verwenden oder nur Abzweige, die für die weitesten Nebenstränge passen, in Verbindung mit Uebergangsrohren (R-Stücken). In letzterem Falle sind weniger Gattungen Formstücke nötig; dafür wird, weil man unter den Muffen des Verstemmens wegen die Rohrgrabensohle vertiefen muß und sie nahe aneinander kommen, die Rohrunterbettung schwieriger.

4. Wo ein Nebenstrang (Versorgungsstrang) an einen Hauptstrang anschließt, ist ein Schieber (Schoß, Wasserschieber, Absperrschieber) einzubauen, ferner teile man durch Schieber die Hauptstränge in 1 bis 1,2 km lange Strecken und das Netz der Nebenstränge in Maschen von höchstens 1,5 km Rohr. Es muß möglich sein, einen Punkt außer Druck zu setzen, ohne mehr als etwa 5 Schieber zu schließen. Die üblichen Schieber verringern die Durchlaufmenge erst merklich, wenn sie nahezu geschlossen sind.

Wasserschläge**) (Widderstöße) schreiten in Gußröhren mit einer (in m/sk) ausgedrückten Schnelligkeit

$$v = \frac{1420}{\sqrt{1 + 0,002 \frac{\text{Durchmesser}}{\text{Wandstärke}}}}$$

von der Entstehungsstelle zum Einlaufe (Behälter) fort und kehren von da gleich schnell zurück. Befindet sich ein offener Schieber in der längs des Rohres (in m) gemessenen Entfernung l vom Behälter, und hat das Wasser die Geschwindigkeit v , so tritt, falls man die Durchflußfläche in der Zeit $T > 2l : v$ gleichmäßig bis auf null verringert, nach Allievi ein Rückschlag, d. h. ein Druck ein, der den in m Wassersäulenhöhe gemessenen Ruhedruck H um h (in m) übertrifft, wobei, falls man die dämpfende Wirkung der Rohrreibung vernachlässigt,

$$\frac{h}{H} = \left(\frac{lv}{gHT} \right)^2 \left[\frac{1}{2} + \sqrt{1 + \left(\frac{gHT}{lv} \right)^2} \right]$$

ist.

5. Alle Scheitelpunkte müssen — z. B. durch Wasserpfosten (Feuerpfosten, Notpfosten, Feuerwechsel, Hydranten, Druckständer) — mit Rücksicht auf die Füllung des Stranges und auf die durch Luftblasen herbeigeführten Druckverluste entlüftet werden können. Der Füllung wegen sind Wasserpfosten unterhalb der Schieber empfehlenswert. Ferner sind solche in bebauten Stadtteilen in 60 bis 120 m Abstand so aufzustellen, daß sie den Wagenverkehr möglichst wenig

*) v. Feilitzsch, J. G. W. 1904 S. 436; Lummert, J. G. W. 1904 S. 700; Metzger, Gesundheits-Ing. 1906 S. 191; Kirchweyer, J. G. W. 1906 S. 851.

**) Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, IV, 20. Hydraulik, S. 437 u. f.

hindern. Der Entlüftung wegen sollen die Abzweigstutzen der Stränge aufwärts zeigen. Die Stutzen erhalten gewöhnlich 65 bis 80 mm lichte Weite. Zum Höhenausgleich dienen Flanschenrohre. Unterflurhydranten sind billiger, Ueberflurhydranten stets leicht zu finden, aber wegen des Verkehrs an vielen Stellen unmöglich. Zur Entlüftung genügen auch von Hand zu betätigende Entlüftungshähne (Luft-hähne) oder Luftschräuben, oder selbsttätige Luftständer (Windstöcke mit Schwimmer). Bei Wasser, das losen Sinter oder Schlamm absetzt,*) empfiehlt sich, um Kratzen oder Bürsten einzuführen, der Einbau von Streifkästen (Putzkästen; wenn mit Lufthahn versehen: Spundkästen) oder Reinigungsrohren. In langen ansteigenden Drucksträngen, durch die das Wasser nur aufwärts fließt, werden manchmal Rückschlagklappen angebracht. Zur Vermeidung zu starker Drücke in stark fallenden Quelleitungen dienen Unterbrechungsschächte (Entlastungsschächte), in denen das Wasser frei fällt. Zur Kontrolle der Dichtigkeit des Netzes oder zu anderen Zwecken kann man in die Hauptstränge Bezirkswassermesser oder Venturiwassermesser,**) auch wohl Woltmannsche Flügel,***) einbauen (vgl. Abschn. Meßkunde).

6. Die Deckung zum Schutze des Wassers vor Erwärmung und der Rohre vor Zerstörung durch Lasten macht man in Deutschland meistens 1,5 m hoch (zwischen Rohroberkante und Straßenebene), in den Niederlanden wegen Grundwasser und häufiger nachträglicher Straßenerhöhung 0,8 bis 1,2 m. Bei Metallteilen, die nahe bis zur Oberfläche reichen, beachte man, daß der Boden an dieselben anfrieren und sie dann bei anhaltendem Frost heben kann.

Fließen stündlich W l Wasser durch eine d m weite, l m lange Leitung, deren Achse h m unter der Bodenoberfläche liegt, so gilt für die Erwärmung oder Abkühlung, wenn t_0 die Bodentemperatur in der Tiefe der Leitungsachse bedeutet (wo sie vom Rohr unbeeinflusst ist, also in größerer Entfernung von letzterem), ferner t_1 die Eintritts- und t_2 die Austrittstemperatur des Wassers in $^{\circ}\text{C}$ bei lehmigem Boden nach Forchheimer†)

$$\lg \frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_2} = \frac{2,37 l}{W (\lg 4h - \lg d)} \quad \text{oder} \quad \lg \frac{4h}{d} \lg \frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_2} = \frac{2,37 l}{W}.$$

Rohrnetze sind langsam zu füllen; es empfiehlt sich, schrittweise vorzugehen und alle Wasserpfeifen und Lufthähne vor dem Einlassen von Wasser zu öffnen. Man vermeide, daß größere Wassermassen in geneigten Strängen mit Wucht abwärts schiefen.

*) Vgl. Abb. 1: Durchfluß durch Leitungen.

**) Bodmer, J. G. W. 1899 S. 746.

***) Thiem, ebenda 1898 S. 260.

†) Z. h. A. u. I. V. 1888 S. 175; 1889 S. 609; Z. ö. I. u. A. V. 1906 S. 202.

VIERZEHNTER ABSCHNITT.

STÄDTEENTWÄSSERUNG.

a) Kanalisationssysteme.

Die Kanalisation eines Gebietes erfolgt entweder nach dem **Mischsystem**, bei dem Schmutz- und Regenwasser vermischt durch dasselbe Sielnetz abgeleitet werden, oder nach dem **Trennsystem**, bei dem für jede Abwasserart ein besonderes Sielnetz vorgesehen ist.

Beim Trennsystem gelangt nur Schmutzwasser nach der Sammelstelle, beim Mischsystem auch ein Teil des Regenwassers. Die Sammelstelle wird daher bei letzterem in Bau und Betrieb teurer als beim Trennsystem.

Beim Trennsystem wird der Vorfluter mit Schmutzwasser nicht belastet, während beim Mischsystem bei stärkeren Regenfällen mehr oder weniger verdünntes Schmutzwasser in den Vorfluter abfließt.

Das doppelte Leitungsnetz der Trennkanalisation belastet den Straßenkörper mehr als das einfache des Mischsystems.

Das doppelte Leitungsnetz des Trennsystems stellt sich im allgemeinen bei hügeligem Gelände und wenn die Regensammler an vielen Punkten in die Vorfluter eingeführt werden können, namentlich aber wenn das Regenwasser bei günstigem Straßengefälle zum Teil oberirdisch in Rinnsteinen zum Abfluß gelangen kann, billiger als das einfache des Mischsystems. Umgekehrt liegen die Verhältnisse im flachen Gelände und bei ungünstiger Lage des Gebietes zum Vorfluter, bei der eine häufige Entlastung nach dem Vorfluter nicht möglich ist.

Die Entscheidung über die Wahl des Systems muß daher von Fall zu Fall nach den örtlichen Verhältnissen und nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen werden.

b) Anordnung des Kanalnetzes.

Beim **Quersystem** (Abb. 1) liegen die einzelnen Sammelgebiete quer zum Vorfluter, und die Sammler dieser Gebiete führen die Abwässer an verschiedenen Punkten in den Fluß. Der Vorteil des Systems liegt in der Billigkeit der Herstellung, sein Nachteil in der Verunreinigung des Flusses während seines ganzen Laufes durch die Stadt. Seine Anwendung kann daher nur bei großen Vorflutern in Frage kommen, wenn das Schmutzwasser im Fluß stark verdünnt wird.

Das Quersystem wird zum **Abfangesystem** (Abb. 2), wenn am Ufer zur Verhütung der Flußverunreinigung ein Abfangekanal gebaut wird. Sein Nachteil besteht in dem meist schlechten Gefälle des Ab-

fangekanals und in seiner tiefen Lage im Grundwasser, wodurch die Herstellungskosten sehr gesteigert werden (London, Wien, Danzig, Dresden).

Durch den Bau mehrerer Abfangekanäle übereinander parallel zum Flufs wird das Quersystem in das **Zonensystem** (Abb. 3) übergeführt, das die Möglichkeit, die unteren Zonen durch die Sielwässer der oberen zu spülen, bietet und für die Abfangekanäle günstigere Gefälle und geringere Tiefenlage im Grundwasser ergibt als das Abfangesystem (Frankfurt a. M.).

Bei vorwiegend ebenem Gelände geht man zum **Fächersystem** (Abb. 4) über, bei dem sich die Hauptsammler fächerartig von der

Abb. 1.

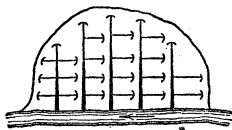


Abb. 3.

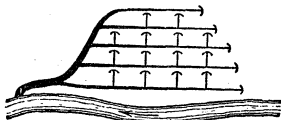


Abb. 2.

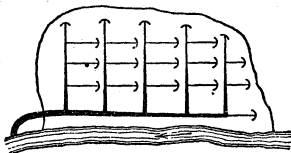
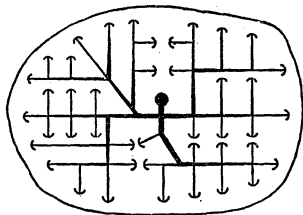


Abb. 4.



Sammelstelle aus über die Stadtfläche verteilen. Die Sammelstelle ist möglichst so zu wählen, daß sich für die

Sammler die günstigsten Gefälle ergeben (Breslau, Wiesbaden, Karlsruhe).

Alle vorgenannten Systeme haben den Nachteil, daß die Hauptsammler von vornherein gleich so groß angelegt werden müssen, daß sie dem Zukunftsbedarf genügen, auch wenn größere Gebietsteile erst in ferner Zukunft aufgeschlossen werden. Die Sammler sind dann für lange Zeit zu groß und beim Hinzutreten neuer Gehiete unter Umständen schließlich zu klein. Diesem Nachteil hilft bei größeren Städten das **Radialsystem** ab, das die ganze Stadtfläche in mehrere fest umgrenzte, voneinander unabhängige Entwässerungsgebiete mit eigenen Sammelstellen aufteilt. Das System schmiegt sich dem allmählichen Wachstum der Stadt an, verursacht geringere Baukosten und geringere Wasserhebekosten an den Sammelstellen und gestattet eine Verteilung der Reinigungsanlagen über den ganzen Umkreis der Stadt, wodurch billigere Preise für den Landerwerb für die Reinigungsanlagen erzielt werden. Hobrecht hat Berlin in 12 Radialsysteme geteilt.

c) Wassermengen.

1. Das **Schmutzwasser** setzt sich zusammen aus den im Hause und in den Werkstätten erzeugten Wirtschaftswässern und den Abgängen

von Mensch und Vieh und dem zu ihrer Wegschwemmung erforderlichen Spülwasser. Seine Menge hängt ab vom höchsten Stundenverbrauch für den Kopf der Bevölkerung und der Bevölkerungsdichte, die ihrerseits wieder abhängig ist von der in Baupolizeinordnungen festgesetzten höchsten Bebaubarkeit der Grundstücke und der Anzahl der bewohnbaren Stockwerke. Die Grundstücksfläche wiederum ist je nach der stärkeren oder schwächeren Aufteilung des Geländes ein geringerer oder größerer Bruchteil des ganzen Stadtgebietes.

Entfallen auf 1 ha Stadtfläche g ha Bauland; können ferner von 1 ha Bauland p ha mit n bewohnbaren Geschossen bebaut werden und kommen auf 1 ha Stockwerksfläche e Einwohner, so ist die Kopfbzahl der Bevölkerung auf 1 ha Stadtfläche

$$k = n g p e$$

und bei einem höchsten Stundenverbrauch von q l für den Kopf die Schmutzwassermenge für 1 ha Stadtfläche

$$q_s = \frac{n g p e q}{3600} \text{ skl/ha.}$$

Gewerbliche Abwässer aus Fabrikvierteln sind besonders zu berücksichtigen, da sie in der Regel außergewöhnlich große Wassermengen bringen.

Die Werte schwanken

für n von	2 bis	5	für e von	150 bis	350
„ g „	0,7 „	0,8	„ q „	7 „	12
„ p „	0,2 „	0,6			

so daß sich für einen weitläufig bebauten Landhausbezirk

$$q_s = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 0,2 \cdot 150 \cdot 12}{3600} = 0,14 \text{ skl/ha,}$$

für ein dicht bebautes Arbeiterviertel

$$q_s = \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 350 \cdot 7}{3600} = 1,63 \text{ skl/ha}$$

ergeben:

In der Praxis gewählt sind

in Berlin	0,77 bis 1,55 skl/ha	in Karlsruhe	2,08 skl/ha
„ Düsseldorf	0,79 „ 1,94 „	„ Köln	0,93 bis 1,30 „
„ Frankfurt a. M.	0,69 „	„ Wiesbaden	0,15 „ 0,65 „

2. Die der Berechnung der Leitungsquerschnitte zugrunde zu legende **Regenwassermenge** ist nicht nur von der Regenstärke, sondern auch von der Oberflächenbeschaffenheit des Entwässerungsgebietes, seiner Flächengestaltung, seiner Ausdehnung und seinem Gefälle abhängig.

Bei jedem Regenfall sind zu unterscheiden Stärke, Dauer und Häufigkeit. Erfahrungsmäßig nehmen Dauer und Häufigkeit mit der Stärke des Regens ab. Die stärksten, je beobachteten Regenfälle sind aus wirtschaftlichen Gründen von vornherein auszuschneiden. Je nach der Bedeutung des Stadtgebietes begnügt man sich, Regenfälle der Berechnung zugrunde zu legen, die im Jahre höchstens 1 bis 3 mal

fallen oder übertroffen werden. Die nachstehende Tafel gibt die Dauer und Stärke von Regenfällen an, die im Jahre höchstens einmal eintreten oder übertroffen werden.

Ort	Regendauer in Minuten					
	5	10	15	20	25	30
Berlin-Charlottenburg . .	172	125	100	83	70	63
Hannover	155	130	95	60	52	45
Darmstadt, Stadthausgarten	150	95	60	42	—	—
Darmstadt, Heinrichstr. .	123	107	46	33	33	—
Karlsruhe	125	87	55	42	33	—
Stuttgart	110	95	60	46	32	30

Sekundenliter für 1 ha.

Nur ein Bruchteil des vom Himmel fallenden Regens gelangt in die Leitungen; der Rest verdunstet und versickert, und zwar um so mehr, je rauer die Bodenoberfläche ist. Ist q_r die auf 1 ha fallende Regenmenge in Sekundenlitern, so ist die von einer E ha großen Entwässerungsfläche abfließende Menge Q_r nicht $q_r \cdot E$, sondern nur

$$Q_r = \varphi q_r E,$$

worin φ die Rauhigkeitszahl ist, die für

Dachflächen	zu 0,8 bis 0,9
fugendichtes Pflaster	„ 0,7 „ 0,9
gewöhnliches Pflaster	„ 0,4 „ 0,7
Chaussierung und Mosaikpflaster	„ 0,4 „ 0,6
Promenadenbefestigung	„ 0,2 „ 0,4
unbefestigte Flächen	„ 0,1 „ 0,2
Parkanlagen und Gärten	„ 0 „ 0,1

angenommen werden kann.

Da nun eine Entwässerungsfläche sich im allgemeinen aus mehreren Flächen verschiedener Rauhigkeit zusammensetzt, so ist die Rauhigkeitszahl φ aus der Formel

$$\varphi = \varphi_1 p_1 + \varphi_2 p_2 + \varphi_3 p_3 + \dots$$

zu berechnen, worin p_1, p_2, p_3 usw. diejenigen Bruchteile bezeichnen, die die Flächen verschiedener Rauhigkeit von der Gesamtfläche ausmachen.

In der Praxis sind gewählt

in Berlin	21,19	bis 50,42	skl/ha
„ Düsseldorf	37,5	„ 75	„
„ Elberfeld	25	„ 40	„
„ Frankfurt a. M.	12	„ 30	„
„ Heilbronn	15	„ 62	„
„ Kaiserslautern	56	„ 110	„
„ Köln	25	„ 55	„
„ Königsberg	40	„ 60	„
„ Stuttgart	12,5	„ 16,7	„

Bei Beginn des Regens liefern nur die einem bestimmten Leitungspunkt zunächst gelegenen Flächen Wasser nach diesem. Mit dem Wachsen der Dauer eines Regenfalles werden immer weitere Flächen wasserliefernd für diesen Punkt und bei genügend langer Dauer schließlich die ganze oberhalb des Punktes gelegene Entwässerungsfläche. Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß für weiter unterhalb gelegene Punkte des Leitungsnetzes nicht nur die Stärke, sondern auch die Regendauer bestimmend für die den Punkt durchlaufende Wassermenge ist. Dauert ein Regen nicht so lange, als die Abflußzeit von den Randflächen bis zu dem Leitungspunkt beträgt, so gelangt nicht die volle Wassermenge $Q_r = q_r E$ in ihm zur Geltung, sondern nur ein Bruchteil derselben.

Diesen Bruchteil schematisch durch eine neue Reduktionszahl ψ , die sogen. Verzögerungszahl, festzulegen, wie es von Bürkli-Ziegler, Mank, Brix, Büsing u. a. geschehen ist, wird mit Recht in neuerer Zeit nach dem Vorgang von Frühling verworfen, weil hierbei die Ausdehnung und die Gestalt der Entwässerungsfläche und die Geschwindigkeit im Leitungsnetz, also die für den Wasserablauf maßgebenden Umstände keinerlei Berücksichtigung finden. In genauer Weise läßt sich die durch den verspäteten Ablauf des Wassers aus den Randflächen veranlaßte Verringerung der Berechnungswassermenge nur durch Konstruktion der Flutkurven für die unteren Knotenpunkte des Leitungsnetzes ermitteln.

Die Flutkurve entsteht durch Auftragen der Regenzeiten als Abszissen und der zugehörigen Wassermengen als Ordinaten eines rechtwinkligen Achsennetzes.

Für eine Einzelstrecke von der Länge l mit einer Geschwindigkeit v des abfließenden Wassers in der Leitung verfließt die Zeit

$$t_l = \frac{l}{v},$$

bis die ganze Entwässerungsfläche E_l für den unteren Leitungspunkt beitragspflichtig wird und für ihn die volle Wassermenge $Q_l = q_r E_l$ für die Sekunde liefert. Unter der zulässigen Voraussetzung, daß die Zuführung des Wassers zur Leitung gleichmäßig über die Strecke verteilt erfolgt, stellen sich dann, wenn noch mit t_r die Regendauer bezeichnet wird, die Flutkurvenordinaten für die verschiedenen Zeiten t

$$\begin{aligned} \text{bei } 0 < t < t_l &: Q_t = \frac{t}{t_l} Q \\ \text{,, } t_l < t < t_r &: Q_t = Q \\ \text{,, } t_r < t < t_r + t_l &: Q_t = \frac{t_r + t_r + t}{t_l} \cdot Q \\ \text{,, } t_r + t_l < t &: Q_t = 0. \end{aligned}$$

Der vordere Anlauf AB der Flutfläche $ABDCA$ ist gleichlaufend mit dem hinteren Ablauf CD ; beide Linien haben in allen ihren Punkten den gleichen wagerechten Abstand t_r . Der Regen von der Dauer t_r beeinflusst den unteren Endpunkt der Strecke während der Zeit $t_l + t_r$.

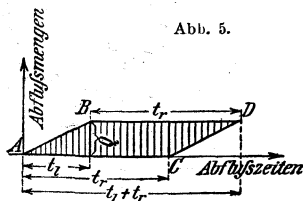


Abb. 5.

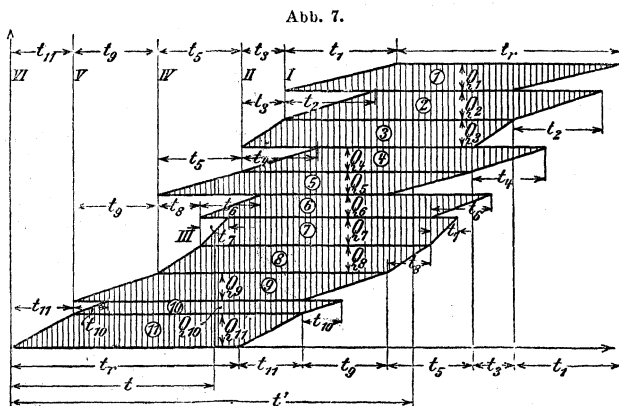
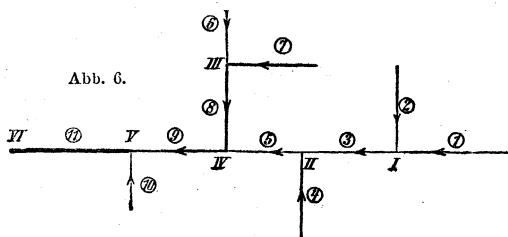
Für ein Leitungsnetz setzt sich die Gesamtflutfläche zusammen aus den Flutflächen der Einzelstrecken derart, daß

1. die Flutflächen der in einem Knotenpunkt zusammenfließenden Strecken dieselbe Anfangsabszisse haben;

2. die Flutfläche einer zwischen zwei Knotenpunkten liegenden Strecke l um die Durchflußzeit dieser Strecke $t = \frac{l}{v}$ gegen die Flutflächen des oberen Knotenpunktes nach unten verschoben ist.

Beim Auftragen der Flutflächen wird mit der entferntesten Strecke am äußeren Rande des Gebietes begonnen und schrittweise nach unten fortgegangen. Bei der Einmündung von Nebensammlern ist nach demselben Grundsatz zu verfahren.

Für das in Abb. 6 schematisch dargestellte Leitungsnetz l_1 bis l_{11} sind in Abb. 7 nach diesen Regeln die Einzelflächen 1 bis 11 konstruiert.



struiert. Die zur Zeit t den Knotenpunkt VI durchströmende Wassermenge setzt sich aus den bei Abszisse t vorhandenen Ordinaten der Flutflächen 11 bis 5 zusammen, während die Strecken 4 bis 1 zu dieser Zeit noch kein Wasser liefern. Für die Zeit t' liefern dagegen

nur die Flächen 8 bis 1 Wasser nach VI; das Wasser der Flutflächen 11 bis 9 hat bereits den Querschnitt VI durchlaufen.

Um nun besser beurteilen zu können, an welcher Stelle die Gesamtflutfläche die größte Ordinate hat, sind die Einzelflutflächen durch Herunterschlagen der Anlauf- und Hinaufschlagen der Ablaufspitzen zur Gesamtflutfläche geometrisch zusammenzulegen, wie es in Abb. 8

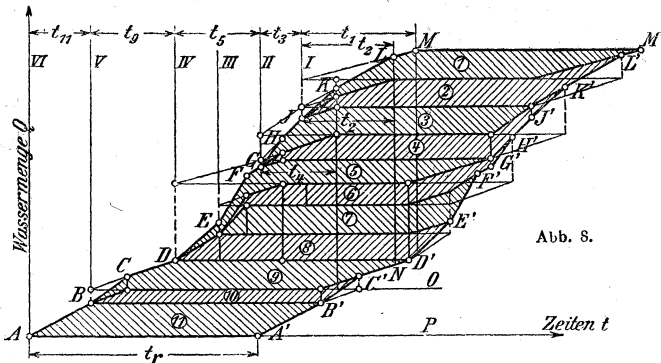


Abb. 8.

geschehen ist, in der die Fläche $AB C D E F G H J K L M M' L' K' J' H' G' F' E' D' C' B' A'$ mit der Anlaufkurve $AB C D E F G H J K L M$ und der mit ihr sich deckenden Ablaufkurve $A' B' C' D' E' F' G' H' J' K' L' M'$ die Gesamtflutfläche für den Knotenpunkt VI darstellt. Um sie zu erhalten, braucht man nur die Anlaufkurve $A \dots M$ zu konstruieren und ihre Abzeichnung um die Abszisse t_p gleichlaufend mit sich wagerecht zu verschieben. Die größte Ordinate der Gesamtflutfläche liefert dann die größte Wassermenge für die betreffende Strecke, die der Berechnung der Größe der Leitung zugrunde zu legen ist.

Im vorliegenden Falle ist die Ordinate LN sowohl für die Strecke 9 als auch für die Strecke 11 die Berechnungswassermenge. Die Differenzen $MO - LN$ und $MP - LN$ zeigen an, welche Wassermengen durch die Verzögerung des Abflusses für die Querschnitte V und VI nicht zur Geltung kommen.

d) Linienführung der Leitungen.

Zur Ersparnis an Erdarbeiten und zur Erzielung möglichst günstiger Leitungsgefälle und damit auch möglichst kleiner Leitungsprofile dient es, wenn die Leitungsgefälle sich dem Geländegefälle anpassen. Um dies zu erreichen, sind im allgemeinen die Hauptsammler in die Geländetäler und die Sammelstelle tunlichst an den tiefsten Punkt des Entwässerungsgebietes zu legen. Die Regel, die Abwässer auf dem kürzesten Wege zur Sammelstelle zu führen, ist nur so lange richtig, als sie nicht gegen den zuerst aufgeführten Grundsatz verstößt. Bei Muldenbildungen im Gelände ist natürlich eine Durchdringung der Geländertücken nicht zu umgehen.

Die Anordnung von Parallelkanälen in derselben StraÙe oder in benachbarten ParallelstraÙen ist möglichst zu vermeiden; sie sind vielmehr in einen Kanal zusammenzufassen, da ein größerer Kanal billiger ist als zwei entsprechend kleinere.

Wo beim Mischsystem Notauslässe in Frage kommen, sind sie tunlichst von Vereinigungspunkten mehrerer Sammler ab abzuzweigen, um die Vergrößerung der Stammkanäle unterhalb der Vereinigungsstelle zu ersparen und das Regenwasser so schnell wie möglich dem Vorfluter zuzuführen.

Die Spiegellinie ist mit Rücksicht auf die gute Entwässerung der Tiefpunkte des Geländes festzulegen.

e) Entwurfsdarstellung.

Im **Vorentwurf** müssen alle Hauptfragen des Kanalisationsplanes ihre grundsätzliche Erledigung finden. Hierzu gehören die Wahl des Systems und der Reinigungsart des Abwassers, die Lage der Sammelstelle und der etwaigen räumlich von ihr getrennten Reinigungsstelle mit deren Vorfluter, die Festlegung der Grenzen des Entwässerungsgebietes und seiner Aufteilung in einzelne Sammlergebiete, die Linienführung der Hauptsammler, die Bestimmung über die Tiefenlage der Leitungen und des Wasserspiegels auf der Sammelstelle, die Wahl der Betriebskraft, sobald das Wasser gehoben werden muß. Es genügt hierfür die Darstellung des Entwässerungsgebietes, der einzelnen Sammlergebiete, der Reinigungsanlage mit ihrem Vorfluter, der Linienführung der Hauptsammler und des Druckrohres auf Uebersichtsplänen im Maßstabe 1:25000 und auf Lageplänen im Maßstabe von etwa 1:10000, die Darstellung der Höhenlage der Hauptsammler und der Hauptnotauslässe in Höhenschnitten im Längenmaßstab 1:10000 und im Höhenmaßstab 1:200.

Im Erläuterungsbericht ist die Notwendigkeit der Kanalisation durch Beschreibung der vorhandenen Verhältnisse nachzuweisen und die Wahl der vorgeschlagenen Kanalisationsweise zu begründen. Ein Kostenüberschlag der voraussichtlichen Bau- und Betriebskosten ist beizufügen.

Für Preußen verlangt der Ministerialrunderlaß vom 30. März 1896 bei Einreichung von Kanalisationsprojekten zur Genehmigung Angaben

1. über die bestehende Kanalisation und die Bestimmungen über Fäkalienabfuhr,

2. über die bestehenden Gesundheitsverhältnisse und Maßnahmen zur Bekämpfung der Infektionskrankheiten und über die Einrichtungen der obligatorischen Desinfektion bei Epidemien (Bericht des zuständigen Kreisarztes),

3. über die Verhältnisse der aufnehmenden Wasserläufe auf 15 km oberhalb und unterhalb bei verschiedenen Wasserständen, Geschwindigkeiten, Wassermengen, benetztes Profil, Bebauung der Ufer, Wehre usw., Benutzung des Wassers, Möglichkeit einer Verbindung mit Brunnen, Schiffsloßverkehr usw.,

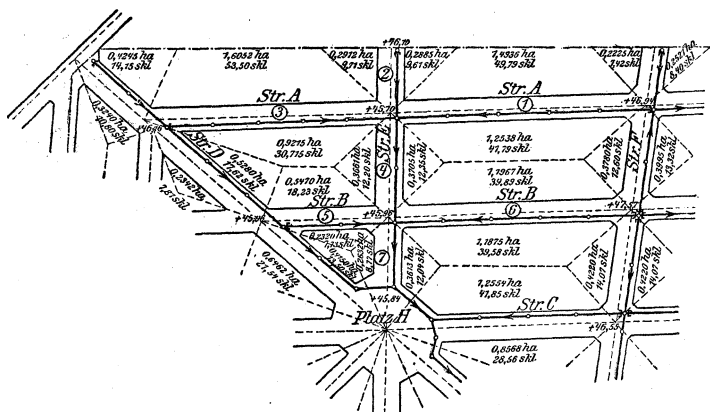
4. über die Wasserversorgung und die Leistungsfähigkeit derselben,

5. über Zahl und Art der gewerblichen Anlagen und deren Abwässer,

plan lediglich die Kanal- von den Tonrohrstrecken durch die Stärke des Striches unterschieden.

Von höchster Wichtigkeit für die Anfertigung und die Prüfung der Entwürfe ist die sachgemäße Auftragung der Höhenschnitte. Zu verwerfen sind alle Auftragungen nach ganzen Straßenzügen oder nach Sammlern 1., 2., 3. . . Ordnung auf einzelnen Blättern. Die Höhenschnitte müssen vielmehr nach dem Verästelungs-, Flufs- oder Spinnensystem derartig aufgetragen werden, daß in der Mitte des Blattes der Hauptsammler als Hauptfluß, über ihm die rechtsseitigen und unter ihm die linksseitigen Nebensammler erster Ordnung als Nebenflüsse angeordnet werden. Die Nebensammler zweiter Ordnung sind in gleicher Weise um die Nebensammler erster

Abb. 10.



Ordnung, diejenigen dritter Ordnung um die Nebensammler zweiter Ordnung usw. zu gruppieren. Stark ausgezogene Linien verbinden die einzelnen Leitungstrecken mit der Mündungsstelle im nächst höheren Sammler, wie es in der Abb. 9 gezeigt ist, die die Höhenschnitte zu dem in Abb. 10 im Lageplan dargestellten Leitungsnetz gibt.

Um sämtliche Leitungen eines Hauptsammlers auf ein Blatt zu bringen und dasselbe übersichtlich zu gestalten, darf der Längensmaßstab der Höhenschnitte nicht über 1:4000 und der Höhenmaßstab nicht über 1:100, besser noch nur 1:200 gewählt werden, welche Maßstäbe vollständig genügen, um alle Einzelheiten genügend klar eintragen zu können. Zu diesen Einzelheiten gehören: die Streckennummern, die Geländehöhen, die Wasserspiegellinie mit ihren Ordinaten und Gefällangaben, der Längsschnitt der Leitungen mit den Sohlenordinaten und Sohlengefällen, die Angaben der Längen und Profilverhältnisse der einzelnen Haltungen, die auf der Strecke hinzutretende Wassermenge und die an ihrem Anfang und an ihrem Ende vor-

handenen Gesamtwassermengen und, sobald bei längeren Regenwasserleitungen auch die Verzögerung mitspricht, die Berechnungswassermenge und die auftretende Abflussgeschwindigkeit, endlich noch auf der Grundlinie die Stationierungsangaben.

Bei einer derartigen Anordnung der Höhenschnitte spielen sich alle Entwurfsarbeiten auf diesem Höhenblatt ab; Anschlußfehler in den Ordinaten der Leitungen oder Fehler im Aufaddieren der Wassermengen können bei einiger Aufmerksamkeit nicht gut vorkommen, und alle für die Gefäll- und Größenbestimmungen der Leitungen maßgebenden Faktoren lassen sich leicht und zeichnerisch überblicken. Das Begraben dieser Angaben in Tabellen ist unübersichtlich, erschwert die Entwurfsarbeiten, macht die Prüfung zu einem höchst umständlichen Geschäft und ist deshalb zu verwerfen.

Wichtig ist auch, alle Angaben, wie es in Abb. 9 geschehen, an diejenigen Stellen zu schreiben, wo sie sachlich hingehören und das Auge sie sucht; die Geländehöhen an die Geländelinie, die Wasserspiegelhöhen und das Spiegelgefälle an die Spiegellinie, die Sohlenhöhen und das Sohlengefälle an die Sohle der Leitung usw. und nicht, wie es häufig geschieht, sie zeilenweise an die Grundlinie des Höhenschnittes zu rücken, was zu Verwechslungen Veranlassung gibt und das Auffinden erschwert.

Zu den Lage- und Höhenplänen treten bei Regenwasserleitungen größerer Länge noch die unter c_2 besprochenen Verzögerungspläne (Abb. 8).

Für die Bauausführung sind die **Bauzeichnungen** der Strecken im Maßstab 1:500 anzufertigen. In diese müssen alle Einsteigeschächte und Straßensinkkästen, die Hausanschlüsse, das Sohlengefälle, die Leitungsprofile, die genauen Längen, die Ordinaten für jede Station eingetragen sein. Dasselbe gilt für die **Revisionszeichnungen**.

f) Berechnung der Leitungsquerschnitte.

Für die Berechnung des Leitungsquerschnittes wird die neue Bazinsche Formel (I. Bd., Mechanik flüssiger Körper, S. 311) benutzt, nach der

$$v = \frac{87 \sqrt{\frac{F}{u}}}{1 + c \sqrt{\frac{u}{F}}} \sqrt{i} \quad Q = \frac{87 F \sqrt{\frac{F}{u}}}{1 + c \sqrt{\frac{u}{F}}} \sqrt{i}$$

ist, worin

F den Leitungsquerschnitt in qm ,

u den benetzten Umfang in m ,

i das Gefällverhältnis der Wasserspiegellinie,

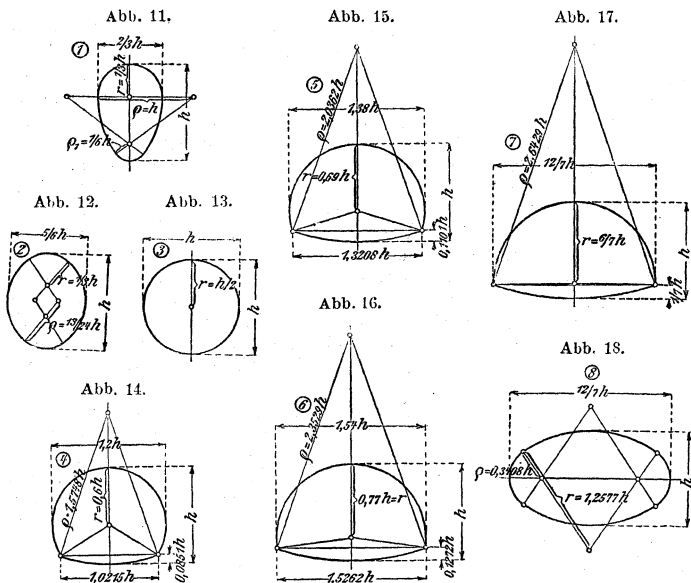
v die Geschwindigkeit in Sekundenmetern,

Q die Wassermenge in Sekundenkubikmetern und

c eine Reibungszahl

bezeichnet, die bei Kanalisationsleitungen der sich bildenden Sichelhaut wegen unbedenklich $= 0,3$ gesetzt werden kann, ganz gleichgültig, ob es sich um Tonrohre, Beton- oder Klinkerkanäle handelt.

Das Punktrechenbild in Abb. 19 ermöglicht für jedes der 8 in den Abb. 11 bis 18 dargestellten Profile in bequemer Weise zu jedem Ge-



fälle und zu jeder Wassermenge die Ablesung der Leitungshöhen und der zugehörigen Geschwindigkeiten.

Die Verbindungslinie des Gefällpunktes auf der Gefälllinie III mit dem Wassermengenpunkt auf der Wassermengenlinie II schneidet die Richtungslinie I in einem Punkt, dessen Wagerechte auf den Profillinien linker Hand die Profilhöhen angibt. Das eingezeichnete Beispiel läßt erkennen, daß zur Abführung von 1500 skl bei einem Gefälle von 0,8 vT (1 : 1250)

ein Profil 1 von 1,76 m	ein Profil 5 von 1,19 m
„ „ 2 „ 1,55 „	„ „ 6 „ 1,14 „
„ „ 3 „ 1,40 „	„ „ 7 „ 1,10 „
„ „ 4 „ 1,26 „	„ „ 8 „ 1,09 „

Höhe erforderlich wird.

Ebenso liefert die Wagerechte durch den Höhenpunkt auf den Profillinien rechter Hand auf der Richtungslinie V einen Punkt, durch dessen Verbindung mit dem Gefällpunkt auf der Gefälllinie III auf der Geschwindigkeitslinie IV die Geschwindigkeit gefunden wird, für das eingezeichnete Beispiel eine solche von rd. 0,94 m/sk.

g) Berechnung der Regenüberfälle.

Für die Berechnung der Abmessungen von Regenüberfällen dient, je nachdem die Abzweigung des Notauslasses nach Abb. 20 oder 21 erfolgt, entweder die Formel für vollkommene Ueberfälle

$$Q = 0,5 b h \sqrt{2 g h}$$

oder aber die Bazinsche Formel, in die für i das Spiegelgefälle des Notauslasses einzusetzen ist. In ersterer Formel bezeichnet b die Breite des Ueberfallrückens; in letzterer sind für F und u die Abmessungen des Durchflußprofils über dem Wehrrücken einzusetzen.

Abb. 20.

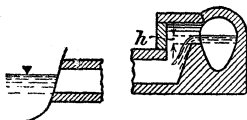
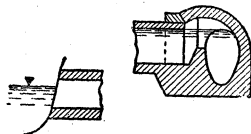


Abb. 21.



Um dem Notauslaß tunlichst günstiges Sohlengefälle und möglichst geringe Tiefenlage zur Ersparnis von Herstellungskosten geben zu können, empfiehlt es sich, von der Abzweigung nach Abb. 21 nur abzuweichen, wenn die örtlichen Verhältnisse es erheischen.

h) Tiefenlage und Gefälle.

Die Leitungen müssen mindestens frostfrei mit 1,0 bis 1,3 m Scheiteldeckung und im übrigen so tief liegen, daß die anliegenden Grundstücke hinreichend entwässert werden können. Entscheidend ist hierbei nicht bloß die absolute Höhenlage des Anschlußpunktes, sondern auch sein Abstand vom Siel. Ausnahmeweise tief gelegene Keller- oder Hofausgüsse, deren Anschluß eine wesentlich tiefere Lage des Sieles bedingen und hierdurch zu einer unverhältnismäßig starken Verteuerung des Entwurfes führen würde, sind nicht zu berücksichtigen; es ist vielmehr in diesen Fällen den Anliegern zu überlassen, das Abwasser solcher Punkte in das Sielnetz auf eigene Kosten überzupumpen.

Für die Anschlußleitung sind Gefälle nicht unter 1 : 100 zu wählen. Unter gewöhnlichen Verhältnissen bei nicht zu großen Tiefen der Häuserblöcke und Kellertiefen von nicht über 0,5 m unter Straßenhöhe kann man am letzten Ende der Leitungen im äußersten Falle eine Tiefenlage der Sohle von 1,5 m unter Gelände wählen. Besser sind größere Tiefenlagen. In Berlin geht man ohne Not nicht flacher als 2,3 m.

Das Gefälle der Leitungen soll möglichst so gewählt werden, daß sie sich im Betriebe selbst rein spülen. Hierzu ist bei Sielwässern eine Geschwindigkeit von etwa 60 cm/sk erforderlich. Erfahrungsmäßig kommt man allerdings unter Erhöhung der Betriebskosten für Reinigung und Spülung auch noch mit Geschwindigkeiten bis zu 40 cm/sk aus.

Da die Geschwindigkeiten mit wachsendem Querschnitt steigen, ist es falsch, für große und kleine Profile gleiche Gefälle zu nehmen; das Gefälle muß vielmehr für kleine Leitungen stärker, für große schwächer gewählt werden (Abb. 22).

Abb. 22.



Als Anhaltspunkt für die zu wählenden Gefälle dient für Rohre mit Kreisquerschnitt die nachstehende Tafel.

Rohrweite cm	Geschwindigkeiten von			
	40 cm	45 cm	50 cm	60 cm
20	2,11	2,70	3,33	5,00
25	1,48	1,85	2,35	3,33
30	1,11	1,39	1,73	2,50
35	0,91	1,11	1,33	2,00
40	0,72	0,93	1,10	1,59
45	0,60	0,77	0,95	1,32
50	0,51	0,66	0,80	1,11
60	0,39	0,48	0,61	0,87

Gefällverhältnis in Tausendstel

Für andere Profile und größere Leitungen ist das erforderliche Gefälle aus der rechten Seite des Rechenbildes in Abb. 19 zu entnehmen.

1) Bauweise der Leitungen.

Als Baustoff für die Herstellung der Leitungen dienen gebrannter Ton, Klinkermauerwerk und Beton, letzterer jedoch nur dann, wenn völlige Sicherheit für ein säurefreies Abwasser geboten ist, also hauptsächlich für Regenwasserleitungen. Kohlensäurehaltige Abwässer zerstören den Beton, und ebenso ist Beton zu vermeiden beim Bau in schwefelkieshaltigem Moorboden. Durch Bekleidung mit Klinkern oder gebrannten Tonplatten kann der Beton gegen säurehaltige Abwässer geschützt werden.

Rohre aus **gebranntem Ton** oder **Steinzeug** mit Salzglasur kommen in **Kreisform** in Baulängen von 1,0 m und Pafsstücken von 0,60 oder 0,75 m Länge in nachstehenden lichten Weiten und Wandstärken vor:

Lichte Weite in cm . . .	15	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35
Wandstärke in mm . . .	18	20	22	23	24	26	27	28
Lichte Weite in cm . . .	37,5	40	42,5	45	47,5	50	55	60
Wandstärke in mm . . .	29	30	32	34	36	37	39	42
Lichte Weite in cm . . .	65	70	80	100	—	—	—	—
Wandstärke in mm . . .	45	48	52	54	—	—	—	—

Von 50 cm Weite ab sind sie im Scheitel 10 cm, im Kämpfer 15 bis 20 cm stark mit Magerbeton in einer Mischung von etwa 1:12 bis 1:15 zu umstampfen, um sie statisch sicher zu machen.

Eiförmige und elliptische Steinzeugrohre sind mit lichten Weiten von 30/20, 37,5/25, 45/30, 52,5/35, 60/40, 75/50, 90/60 cm in Baulängen von 75 cm im Handel vertreten. Sie haben den Nachteil, daß sie beim Verziehen im Feuer nicht wie das Kreisrohr beim Verlegen passend zum Vorrohr gedreht werden können, so daß sich kleinere Absätze an den Stößen bilden.

Die 7 cm langen Muffen werden mit Teerstrick und Guß- oder Stampfkitt (Teer- und Asphaltkitt) gedichtet. Die lichte Weite der Muffen muß so groß sein, daß die Dichtungsfuge nicht unter 15 mm stark ist. Das früher übliche Dichten mit plastischem Ton hat sich nicht als sicher gegen das Einwachsen von Baumwurzeln in die Rohrleitungen erwiesen. Auch das Dichten mit Zementmörtel ist zu verwerfen, da es eine zu starre Verbindung gibt, so daß die Muffen auch bei geringfügigem Setzen der Leitung zerplatzen und eine später etwa erforderliche Beseitigung des Rohrstranges sich ohne Verletzung der Rohrmuffen nicht ermöglichen läßt.

Um ein Haften der Kittmasse an den Rohrwandungen zu erreichen, das für wirkliche Dichtung des Rohrstoßes erforderlich ist, sind die geriffelte Außenfläche des Schwanzendes der Rohre und die geriffelte Innenfläche der Muffe mit einem dünnflüssigen, gut trocknenden Teer- oder Asphaltlack zu streichen. Auch müssen die Dichtungsflächen vor dem Einbringen des Kittes durchaus sauber und trocken gehalten werden. Bei Rohrverlegungen unter Grundwasser ist deshalb dafür zu sorgen, daß selbst die Kopflöcher an den Muffen wasserfrei sind.

Auch muß das Grundwasser während der Dichtungsarbeiten entweder durch Absenken genügend tief gehalten oder aber der Rohrstrang auf einer Kiesschüttung mit Drainröhren verlegt werden.

Zementbetonrohre in Kreisform

nach Abb. 23, in Eiförm nach Abb. 24 in Baulängen von 1 m und folgenden Abmessungen:

Kreisrohre

D	W	O	U	S	Gewicht kg/m	Bruchlast kg/m	D	W	O	U	S	Gewicht kg/m	Bruchlast kg/m
mm							mm						
300	50	50	50	270	119	2500	600	69	75	75	450	362	3000
350	50	50	50	280	159	2800	700	70	80	80	470	449	3000
400	52	52	52	320	190	2800	800	82	102	102	520	614	3000
450	55	55	55	360	226	2900	900	83	100	100	560	695	—
500	61	61	61	400	272	3000	1000	90	105	105	620	799	3000

Eiform

<i>B</i>	<i>H</i>	<i>W</i>	<i>O</i>	<i>U</i>	<i>S</i>	Gewicht	Bruchlast
mm						kg/m	kg/m
200	300	40	40	45	150	90	3000
250	375	45	45	53	180	138	3000
300	450	48	56	56	210	166	3000
350	525	55	65	60	250	225	3200
400	600	64	76	70	280	289	3400
500	750	70	92	90	320	425	3400
600	900	87	115	108	400	609	3800
700	1050	98	140	120	440	772	3800
800	1200	100	145	140	450	993	4200
900	1350	110	155	145	500	1144	4400
1000	1500	120	170	150	550	1360	4400

Sie werden an den Stößen mit steifem Zementmörtel gedichtet und die Fuge von außen gut verstrichen oder mit Mörtelwulst versehen.

Abb. 25.

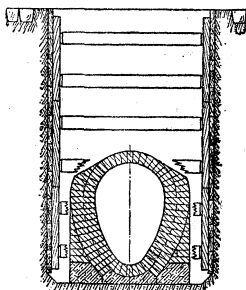
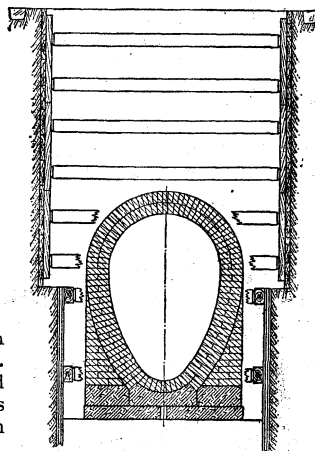


Abb. 26.



Bei begehbaren Profilen wird auch die innere Stoßfuge verstrichen. Auf gute Lagerung der Rohre und feste Hinterstämpfung ist besonders zu achten. In zweifelhaften Fällen sind sie in ein Mörtelbett zu legen, bei größerer Tiefenlage mit Magerbeton zu umstampfen, um die dann fehlende statische Sicherheit zu erlangen.

Für gemauerte Kanäle von 1 bis 2 m Höhe wird das Eiprofil bevorzugt. Sie werden aus klinkerhart gebrannten Formsteinen (Abb. 25 u. 26) unter Verwendung von Zementmörtel 1:3 hergestellt und außen mit einem Rappputz in der Mischung 1:2 bis 1:1 bekleidet. Die Sohle wird aus fertigen Mittel- und Seitensohlstücken aus Beton mit einer Sohlrolle aus Klinkern (Abb. 25 u. 26), einer Sohlchale aus ge-

branntem Ton (Abb. 27) oder einem gebrannten und mit Salzglasur versehenen Tonsohlstück (Abb. 28) gebildet. Die Hintermauerung der Widerlager darf nur fortfallen, wenn der Boden standfest und das Profil

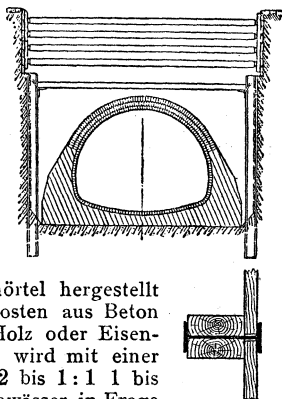
Abb. 27.



Abb. 28.



Abb. 29.



groß genug ist, um von innen heraus gemauert werden zu können. Das Gewölbe besteht bis 1,3 m Höhe nur aus einer Rolle (Abb. 25), darüber hinaus aus zwei Rollen (Abb. 26).

Größere Profile, deren Wandungen den statischen Verhältnissen entsprechend auszubilden sind, werden entweder ganz aus Klinkern in Zementmörtel hergestellt oder zur Verbilligung der Herstellungskosten aus Beton in der Baugrube zwischen Lehren aus Holz oder Eisenblech gestampft. Die innere Wandung wird mit einer fetten Putzschicht in der Mischung 1:2 bis 1:1 1 bis 2 cm stark überzogen oder, wo saure Abwässer in Frage kommen, mit Tonschalen oder einer Klinkerrolle verkleidet (Abb. 28). Zur Ermöglichung einer schnelleren Ausrüstung im Interesse eines gleichmäßigen Arbeitsfortschritts empfiehlt es sich, das Gewölbe ganz aus Klinkern herzustellen (Abb. 29).

Die **Zusammenführung von Kanälen** muß zur Vermeidung von Aufstau und dem hieraus entstehenden Verlust an Spiegelgefälle mög-

a-b

Abb. 30.

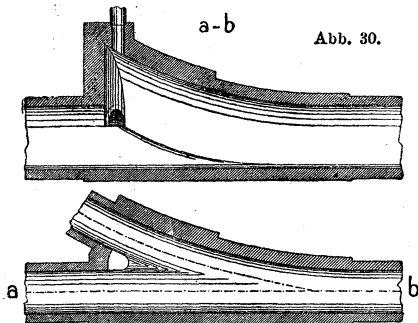
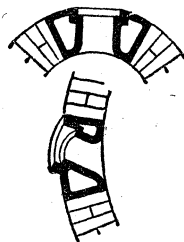


Abb. 31.



lichst tangential bewirkt werden, indem man Sohle, Wandungen und Gewölbe der sich vereinigenden kleineren Kanäle in den beginnenden größeren allmählich überführt (Trompetengewölbe, Abb. 30). Die Einführung von Ton- oder Zementrohren in die Wandungen von Kanälen

aus Klinkern oder Beton geschieht mittels kurzer Stützen oder besonderer Einlaßstücke aus gebranntem Ton (Abb. 31).

Die **Aussteifung der Baugruben** erfolgt durch wagerechte, je nach der Tiefe 5 bis 8 cm starke Bohlen von 4,5 m Länge und 30 cm Höhe mit davorgelegten Brusthölzern (1,0.0,12.0,08) und dazwischengesetzten Steifen (Abb. 25 u. 26) an den Bohlenstößen und in der Mitte der Bohlen. Bei größeren Profilen empfiehlt sich zur Vermeidung des Umsteifens und Freihaltung des Bauraumes Aussteifung mittels wagerechter Bohlen zwischen senkrecht eingerammten I-Eisen (Abb. 29).

Die **Fundierung unter Grundwasser** geschieht entweder unter Wasserhaltung in der Baugrube zwischen Spundwänden auf fertigen Betongrundplatten (Abb. 26), deren Zwischenräume als Zuführungsrinnen des Wassers zum Pumpensumpf dienen, oder in der Regel billiger ohne Spundwände mit wagerechten Bohlen zwischen I-Eisen (Abb. 29) durch Absenkung des Grundwassers mittels Rohrbrunnen und direktes Stampfen der Sohle in der Baugrube.

Einsteigeschächte zum Zwecke der Reinigung, Spülung und Untersuchung der Leitungen sind bei begehbaren Kanälen in Entfernungen von 60 bis 100 m, bei nicht begehbaren Profilen in Entfernungen von nicht über 60 m anzuordnen.

Sie erhalten lichte Weiten von 90 bis 100 cm und werden nach oben zur lichten Weite des Abdeckrahmens nicht unter 51 cm zusammenge-

Abb. 32.

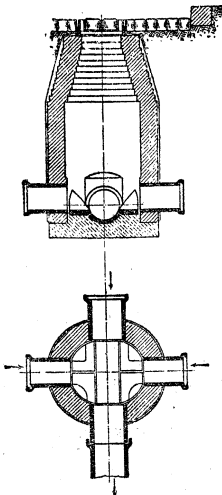


Abb. 33.

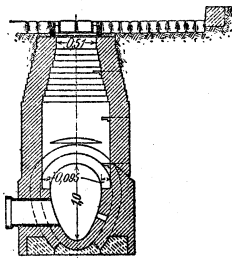
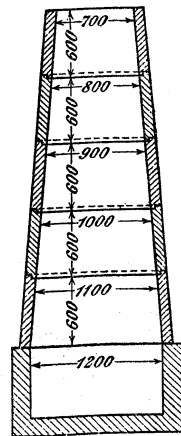


Abb. 34.



zogen. Jede Vertiefung im Einsteigeschacht unter der Rohrsohle ist zur Verhütung von Schlammablagerungen grundsätzlich zu vermeiden. Die Rohrsohlen sind durch den Schacht hindurchzuführen und die seitlichen Schachterweiterungen abzuböschern. Dies geschieht entweder in Beton, durch Abpflasterung mit Klinkern oder Tonplatten oder auch mit besonderen, in Ton gebrannten Brunnensohlstücken (Abb. 32).

Seitlich einmündende Leitungen sind tangential in den Hauptstrang überzuführen. Bei nicht begehbaren Profilen ist die Leitung von Schacht zu Schacht geradlinig zu führen.

Der Schachtkörper wird entweder aus Formsteinen $\frac{1}{2}$ oder 1 Stein stark (Abb. 32 u. 33) oder aus 1 m hohen, 6 bis 9 cm starken Betonringen hergestellt (Abb. 34). Passende Verjüngungsringe vermitteln in letzterem Falle den Uebergang zur Schachtabdeckung. Abb. 33 zeigt die Anordnung des Schachtes bei gemauerten Kanälen.

Regensinkkästen sind zur Einführung von Regenwasser in die Leitungen für etwa je 700 qm Straßensfläche je nach der Straßensbreite in Abständen von 40 bis 60 m anzuordnen. Sie werden zur Fernhaltung des Straßenschlammes von den Leitungen mit einem 80 bis 100 cm tiefen Schlammfang und zur Verhütung der Ausströmung von Sielluft auf die Straße mit einem Wasserverschluß versehen und zur Abhaltung von sperrigen Stücken, von Laub, Stroh, Papier usw. mit einem gußeisernen Rost abgedeckt.

Letzterer erhält, wenn häufiges Zusetzen des Rostes zu befürchten steht, einen seitlichen Notüberlauf unter der Bordkante (Abb. 36).

Der Schachtkörper wird entweder aus Klinkern 1 Stein stark (quadratischen Querschnitt von 65 cm Seite [Abb. 35]), oder aus Steinzeug, Beton oder Gußeisen in Kreisform mit einer lichten Weite von 45 cm für Straßensinkkästen und von 30 cm für Hofsinkkästen hergestellt. Der Auslaufstutzen muß frostfrei liegen. Zur Erleichterung der Räumung des Schlammfanges werden häufig Schlammeimer aus verzinktem Eisenblech mit Bodenklappe eingehängt (Systeme Geiger und Mairich).

Abb. 35.

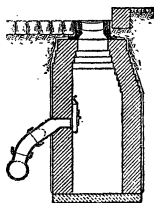
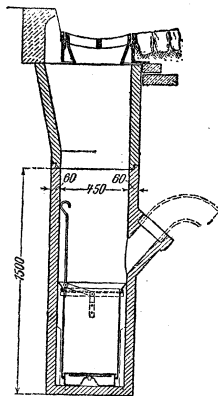


Abb. 36.



k) Notauslässe.

Um beim Mischsystem die Ausführungskosten in wirtschaftlichen Grenzen halten zu können, sind **Notauslässe** anzuordnen, die das Leitungsnetz an passenden Stellen, wie den Vereinigungspunkten mehrerer Sammler, bei starken Regengüssen entlasten und das von den Pumpmaschinen nicht zu bewältigende Mischwasser den öffentlichen Wasserläufen zuführen. Sie müssen daher derartige Abmessungen erhalten, daß sie die um die Pumpenwassermenge verminderte Gesamtwassermenge abzuführen imstande sind. Als Pumpenwassermenge ist die doppelte Hauswassermenge zu nehmen. Je höher die Ueberfallsschwelle (Abb. 20 u. 21) liegt, desto später kommt der Notauslaß in Tätigkeit, um so kürzere Zeit wird er laufen und desto weniger wird der Vorfluter beansprucht. Je nach der Wassermenge des Vorfluters und seiner Geschwindigkeit legt man des-

halb die Ueberfallschwelle so hoch, daß die Füllung im Kanal der 4- bis 8-fachen Schmutzwassermenge entspricht. In Berlin liegen die Ueberfallsschwellen bei Tonrohrleitungen im Scheitel derselben, bei Kanälen auf $\frac{2}{3}$ der Kanalhöhe. Die Berechnung der Breite des Ueberfallrückens erfolgt dann nach den unter g) gegebenen Formeln.

1) Pumpstationen.

Wenn die Sammelstelle der Schmutzwässer in der Stadt tiefer liegt wie die Reinigungsanlage außerhalb derselben, oder wenn das Wasser tief gelegener oder im Hochwassergebiet der Vorfluter liegender Stadtteile in höher gelegene Kanäle oder in die Vorfluter gehoben werden muß, sind Pumpstationen anzuordnen. Als Betriebskraft kommt in erster Linie für alle mittleren und größeren Anlagen Dampf in Frage, weil bei ihm sich dann der Betrieb am billigsten stellt. Nur besondere örtliche Verhältnisse können zur Wahl elektrisch angetriebener Maschinen oder von Gaskraftmaschinen oder Dieselmotoren führen.

Die Pumpmaschinen müssen so eingerichtet sein, daß sie sich in ihrer Leistung leicht der wechselnden Tageswassermenge anpassen. Es sind deshalb nur schnell laufende Maschinen mit 15 bis 80 Umläufen in der Minute und gesteuerten Pumpenventilen zu gebrauchen.

Die Sturzregen finden dann bei ihrem Einsetzen ein ziemlich leeres Leitungsnetz vor, und die Notauslässe können ein besser verdünntes Mischwasser abführen. Für die Bewältigung der Sturzregen sind Gas-

kraft- oder elektrisch angetriebene Maschinen oder Dieselmotoren zu verwenden, um sofort bei Beginn des Regens betriebsbereit zu sein.

Zur Abhaltung sperriger Gegenstände,

wie Papier, Lumpen usw. von den Pumpen sind vor denselben Gitter einzubauen. Der Stammkanal erweitert sich zu diesem Zweck auf der Pumpstation zu einem Gitterraum. An Stelle der früher üblichen runden Sandfänge mit festem, stehendem Gitter, die unbequem von Hand zu reinigen waren (Abb. 37), treten besser feste, liegende Gitter mit anschließendem schrägen Abstreichteil, die in länglichen Kammern untergebracht werden. Von seitwärts angeordneten Fußsteigen kann das Abstreichen der Gitter bequem in die Abstreichrinne erfolgen (Abb. 38). Die Handreinigung wird bei den festen Gitterrosten durch maschinell bewegte Reinigungskämme ersetzt, die die Schwimmstoffe nach oben in eine Rinne oder auf ein Transportband werfen. Das Bestreben, die Reinigung nicht mehr unkontrollierbar unter, sondern sichtbar über Wasser zu bewirken, führte zu beweglichen Gitterrosten, entweder in der Form des Schneppendahl'schen Flügelrechs (Abb. 39) in Frankfurt a. M., bei dem mehrere Gitterroste flügelartig auf einer außerhalb des Wassers liegenden wagerechten Achse sitzen, oder in der Form eines Bandgitters, bei dem das Gitter nach Art einer Glieder-

Abb. 37.

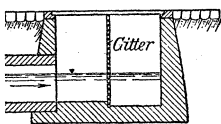
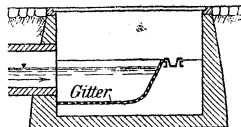


Abb. 38.



kette geteilt und als endloses Band über eine Trieb- und eine Leitrolle geführt wird (Abb. 40).

Solange die Reinigungsanlage getrennt von der Pumpstation liegt, muß es Grundsatz bleiben, auf der letzteren möglichst wenig Schwimm-

Abb. 39.

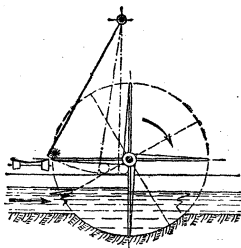
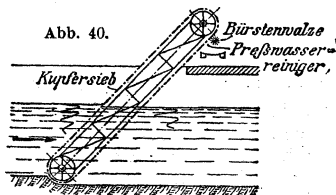


Abb. 40.



Schweb- und Sinkstoffe zu entfernen, weil ihr Transport durch das Druckrohr sich wesentlich billiger stellt als der Wagentransport von der Pumpstation, auch ihre Unterbringung auf der Reinigungsanlage leichter möglich ist wie von der Stadt aus. Von diesem Gesichtspunkt aus sind alle Absitzgruben mit maschinellen Baggervorrichtungen zu verwerfen; vielmehr empfiehlt es sich, die sperrigen Gegenstände auf maschinellem Wege in Walzwerken zu zerkleinern und für den Transport durch das Druckrohr ohne Gefahr für die Pumpen zuzubereiten (Pumpstation XI in Berlin).

m) Druckrohrleitungen.

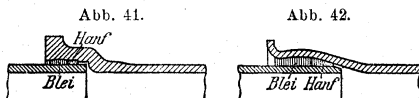
Druckrohre werden mit ungefähr 1 m Scheiteldeckung verlegt und folgen im allgemeinen dem Geländegefälle. Besonders hochgelegene Stellen werden mit einfachen, von Hand zu bedienenden Lufthähnen versehen, um die an ihnen sich ansammelnde Luft zu entfernen. Selbsttätige Lufthähne haben sich bei Sielwässern nicht bewährt. An den tiefsten Stellen der Druckrohrleitung werden zur Entleerung derselben bei Rohrausbesserungen Entleerungsleitungen von 20 cm Weite angebracht. Die Entleerungsstutzen sitzen am Druckrohr unter einem Winkel von 45° . Wenn auch die Rohrleitung so sich nicht ganz entleeren kann, so wird doch durch diese Anordnung das Verstopfen der Schieber vermieden, das sicher eintritt, wenn die Stutzen an der Rohrsohle sitzen.

Bei nebeneinander liegenden Rohrsträngen und mangelnder Gelegenheit zur Entleerung können Ueberpumpvorrichtungen eingerichtet werden, bei denen das Wasser des einen Rohres mittels einer Hochdruckzentrifugalpumpe in das andere Rohr hinübergedrückt wird.

Früher wurden fast nur gusseiserne Rohre verwendet, in neuerer Zeit aber in immer steigendem Maße auch schmiedeeiserne aus Siemens-Martin-Flusseisenblechen, deren Längsnähte mittels Wassergasgebläses zusammengeschweißt sind. Letztere Rohre haben den Vorzug größerer Betriebssicherheit und sind unbedingt an allen irgendwie gefährdeten Stellen zu nehmen. Aber auch sonst steht ihrer Verwendung nichts

im Wege, da die angeblich stärkere Rostgefahr bei den stets alkalischen Sielwässern nicht zu befürchten ist.

Die Wandstärken entsprechen bei gußeisernen Muffenrohren den deutschen Rohrnormalien des Vereins deutscher Ingenieure und des Vereins deutscher Gas- und Wasserfachmänner; dagegen hat sich die zylindrische Normalmuffe bei den Temperaturschwankungen der Sielwässer nicht bewährt. An ihrer Stelle werden zur Verhinderung der Muffenundichtigkeiten Muffen konischer Form, in Berlin die in Abb. 41 dargestellte angewandt.



Die geschweißten schmiedeeisernen Rohre werden unter gewöhnlichen Verhältnissen als Muffenrohre mit kegeligen Muffen (Abb. 42), für besonders gefährdete Stellen als Flanschrohre hergestellt.

n) Betrieb.

Sinkstoffe, wie Sand, zerriebene Pflastersteine, Kaffeegrund usw., lagern sich auf der Sohle der Leitungen ab und würden nach und nach den ganzen Leitungsquerschnitt füllen, wenn sie nicht beseitigt würden. Die Leitungen sind daher zeitweise zu spülen und von den abgelagerten Sinkstoffen zu reinigen.

Gespült wird entweder mit dem Sielwasser selbst von höher gelegenen Leitungen aus oder mit Wasserleitungswasser, bei passend gelegenen Wasserläufen auch aus diesen. Zu diesem Zweck wird die Anbringung besonderer Spülklappen oder Spülschieber in den Einsteigebrunnen oder von Spültüren in den Kanälen zur Aufstauung des Spülwassers von einzelnen Technikern empfohlen, von anderen des leichten Einrostens und des Ungangbarwerdens der beweglichen Teile durch die im Schmutzwasser mitgeführten Schwebstoffe wegen verworfen. Der gleiche Zweck wird durch Schließen der Rohre in den Einsteigebrunnen mittels transportabler Stöpsel oder Teller erreicht. Durch Fortziehen des Verschlusses von der zu spülenden Rohrleitung ergießt sich die gesamte im Brunnen aufgestaute Wassermenge in diese und reißt die Ablagerungen mit sich bis zum nächsten Brunnen fort, wo sie mit Eimern herausgenommen werden. Auch selbsttätige Spülschächte und Spülkammern, in denen aus der Wasserleitung größere Wassermengen von 1 bis 4 cbm allmählich aufgespeichert und dann mittels eines Heberrohres plötzlich in die Leitungen entleert werden, werden häufig am Kopf der Leitungen angeordnet; jedoch reicht ihre Wirkung der sich rasch in den Leitungen abflachenden Flutwelle wegen nicht weit und kann deshalb auch die Einzelspülung und Reinigung der Strecken selbst bei ihrer Verwendung nicht entbehrt werden.

Stärkere Ablagerungen in nicht begehbaren Leitungen werden entfernt, indem man walzenförmige, mit Piassavaborsten besetzte Bürsten oder auf Kugeln rollende Reiniger an Tauen durch die Rohrleitungen zieht. Sie sperren den Rohrquerschnitt und stauen hinter sich das

Leitungswasser auf. Das Stauwasser tritt durch den Ringspalt bei den Bürsten und den Sohlspalt bei den Reinigern unter Druck aus, wühlt die Ablagerungen vor Kopf auf und wälzt sie vor sich her bis zur nächsten Entnahmestelle.

In begehbaren Kanälen werden die Ablagerungen entweder mit Handbetrieb an Ort und Stelle mit Eimern beseitigt oder man benutzt selbsttätige fahrbare Reinigungsschütze von der Form des Kanalprofils, die an den Kanalwandungen mit Gummilappen abgedichtet sind und nur an der Sohle einen Schlitz für den Spülstrom offen lassen. Das Stauwasser hinter dem Schütz genügt zum Vorwärtstreiben der Vorrichtung und der Ablagerungen.

o) Reinigung der Abwässer.

Bei der Reinigung der Abwässer wird ihre Ueberführung in einen Zustand angestrebt, bei dem sie der Nachfäulnis nicht mehr unterliegen und unbedenklich den in den Vorflutern tätigen Lebewesen zur weiteren Verarbeitung überlassen werden können. Je nach der Größe des Vorfluters, seiner Wassermenge und seiner Geschwindigkeit und der davon abhängigen Selbstreinigungskraft desselben kommen der Reihe nach in Betracht:

1. die einfache Gitter- und Siebreinigung,
2. die Reinigung in Absitzbecken, Klärbrunnen und Klärtürmen,
3. die Reinigung mittels chemischer Zusätze,
4. die Reinigung auf künstlichen Filterkörpern,
5. die Reinigung durch Bodenfiltration,
6. die Reinigung auf Rieselfeldern.

Während bei den Reinigungsarten unter 1 bis 3 lediglich eine mechanische Ausscheidung der Sink- und Schwimmstoffe aus dem Abwasser eintritt, findet bei denjenigen unter 4 bis 6 unter dem Einfluß des Luftsauerstoffes und der Mitwirkung kleiner Lebewesen auch die chemische Veränderung der schwebenden und gelösten Stoffe, der Abbau der hoch zusammengesetzten tierischen und pflanzlichen Eiweißstoffe in ihre unschädlichen unorganischen Endprodukte Kohlensäure, Ammoniak und Salpetersäure statt.

Bei den Gitterkonstruktionen sind Grob- und Feingitter zu unterscheiden, erstere mit Spaltweiten von 40 bis 15 mm, letztere bis zu 2 und 1 mm herab. Die **Grobgritter** fischen nur die größeren Bestandteile heraus zum Schutz der Pumpen und zur Verhütung ästhetischer Bedenken beim direkten Einlauf in die Vorfluter. Irgendwelche besondere Klärwirkung wird mit ihnen nicht beabsichtigt. Mit den **Feingittern** soll dagegen eine möglichst hohe Klärwirkung durch Herausfischen des größten Teiles des Abraumes aus den Sielwässern erzielt und die Anbringung besonderer Anlagen zur Ausscheidung der Schwimm- und Schwebstoffe unnötig gemacht werden. An Stelle der aus Flacheisenstäben gebildeten Gitter tritt der aus nebeneinandergespannten feinen Stahldrähten gebildete **Harfenrechen**, der jedoch praktisch den Nachteil hat, daß die Spaltweite durch Einklemmung größerer Stücke leicht vergrößert wird.

Am vollkommensten wird sowohl in konstruktiver Hinsicht als auch mit Rücksicht auf die Klärwirkung die Feinreinigung durch die

Rienschsche Scheibe mit den von der Maschinenfabrik Wurl in Weissen-see bei Berlin an ihr angebrachten Verbesserungen erreicht (Abb. 43). Sie ist eine im Wasserstrom in geneigter Lage sich drehende Siebfläche mit eingestanzten zylindrischen oder ausgefrästen keglichen Schlitten. Ihre Reinigung erfolgt außerhalb des Wassers durch sich

Abb. 43.

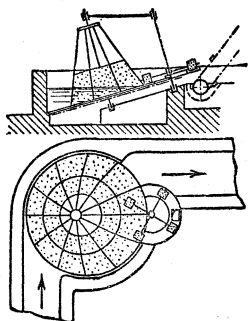
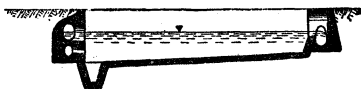


Abb. 44.



drehende Bürsten, deren Bewegung zwangsläufig von der Triebwelle aus erfolgt.

In **Klärbecken**, **Klärbrunnen** und **Klär-türmen** sollen auch die feinsten Schwimmstoffe ausgeschieden werden. Nach den Versuchen von Bock und Schwarz (Hannover), Steuernagel (Köln), Uhlfelder und Tillmanns (Frankfurt a. M.), Höpfner und Paulmann (Kassel) und Schoenfelder (Elberfeld) sind die Durchströmungsgeschwindigkeit bei

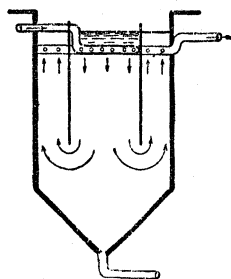
Becken praktisch zu 10 mm, die Durchströmungsdauer zu etwa 70 min, die Beckenlänge zu 40 bis 45 m, die Beckentiefe zu rd. 2 m zu wählen. Es werden dann rd. 69 vH der organischen Stoffe ausgefällt. Größere Geschwindigkeiten setzen die Klärwirkung erheblich herab, geringere erhöhen sie nur unbedeutend. Da am Beckeneinlauf die stärkste Schlammablagerung erfolgt, ist hier der Sumpf für die Schlamm-pumpen anzulegen, auch die Beckensohle nach dem Ablauf hin steigend (1:50 bis 1:100) anzuordnen. Zur Verhinderung von Wirbelbildungen erfolgt der Ein- und Ablauf von Galerien aus über Wehrkronen. Der Reinigung wegen sind mehrere Becken nebeneinander anzuordnen. Das geklärte Abwasser ist möglichst im Stromstrich in den Fluß einzuführen, um Ablagerungen am Ufer zu verhüten (Abb. 44).

Dem gleichen Zweck dienen die **Klär-brunnen** und **Klärtürme**, in denen sich die Abwässer nicht wagerecht, sondern senkrecht bewegen, bei den Klärtürmen unter dem Einfluß einer künstlich erzeugten Luftleere. Die Durchströmungsgeschwindigkeit darf höchstens 1,5 mm betragen.

Als Beispiele seien der Mairische Brunnen (Abb. 45) und der Rothesche Klärturm (Abb. 46) angeführt.

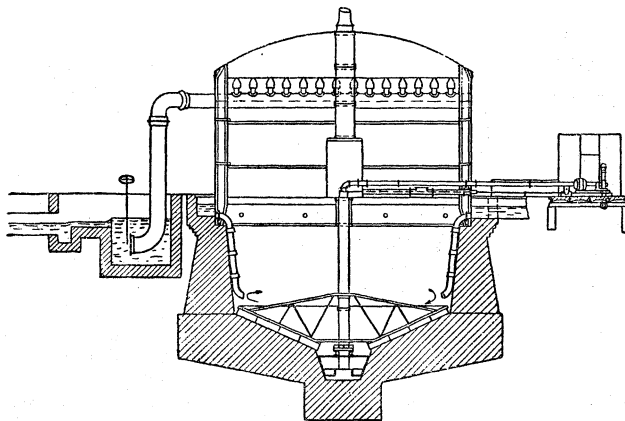
Während bei den bisher genannten Einrichtungen mehr oder weniger frischer Schlamm gewonnen wird, der schwer drainierbar und daher erst spät stichfest wird und auf den Schlamm-trockenplätzen zu Geruchbelästigungen führt, liefern die

Abb. 45.



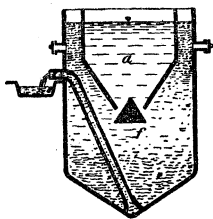
Imhoff'schen Emscher-Brunnen (Abb. 47) einen geruchfreien, schon nach wenigen Tagen stichfesten Schlamm. Sie stellen eine Ver-

Abb. 46.



bindung von Klärbecken und Klärbrunnen dar, bei denen das frische Abwasser den Absitzraum *a* wie im Becken wagrecht mit einer Geschwindigkeit von 20 mm und einer Klärdauer

Abb. 47.



von 3 bis 4 st durchströmt. Die ausfallenden Schlammteile rutschen an den schrägen Wänden des Absitzbeckens in den unter ihm angeordneten Schlammraum *f*, in dem sie unberührt von dem frischen Abwasser 3 bis 4 Monate lang lagern, wobei sich die organischen Stoffe unter Entwicklung von Sumpfgas und Kohlensäure zersetzen.

Um die Ausfällungszeit in den Klärbehältern abzukürzen, gelangten früher vielfach **chemische Fällmittel**, wie Kalkmilch, verschiedene Eisen-, Tonerde- und Mangansalze, auch lösliche Kieselsäure zur Anwendung. Sie vermehrten aber die Schlammengen erheblich, erschwerten auf die Dauer den Absatz des Schlammes und verhüteten nicht einmal die Nachfäulnis. Gehalten hat sich von den chemischen Verfahren nur das **Degner-Rothsche Kohlebreiverfahren** (Potsdam, Tegel, Oberschöneweide, Cöpenick), bei dem feingemahlene Braunkohle mit Eisenoxydsalzen den Abwässern zugesetzt wird. Seine Wirkung beruht darauf, daß letztere Salze mit den Humusstoffen der Braunkohle großflockige Niederschläge bilden, die die feinsten Schwebeteilchen der Jauche umhüllen und mit sich zu Boden reißen. Nachdem dem Schlamm in Filterpressen 50 vH seines Wassergehaltes entzogen sind,

wird er zu Ziegeln geformt und zur Kesselfeuerung verwandt, so daß die Schlammfrage in befriedigender Weise gelöst ist.

Bei den künstlichen Filterverfahren sind das **Füll-** und **Tropfverfahren** zu unterscheiden. Beide benutzen Brockenkörper aus Kesselrostschlacke, Grubenkoks, Steinkohlen, Steinschlag oder Ziegelsteinbrocken.

Beim Füllverfahren wird das Abwasser in wasserdichte, mit dem Brockenmaterial gefüllte Becken eingelassen, bleibt in denselben 1 bis 2 st stehen und wird dann abgelassen (Abb. 48).

Beim Tropfverfahren wird das Brockenmaterial in schwach geböschten, kegelförmigen Körpern aufgeschichtet und das Abwasser mittels Brausen, durchlochter Rinnen oder Drehsprenger über die Oberfläche in möglichst feinen Strahlen verteilt, so daß es tropfenweis durch den Körper sickert (Abb. 49).

Der Reinigungsvorgang in den Brockenkörpern ist zunächst ein rein mechanisch - physikalischer, indem die Schmutzstoffe des Abwassers sich auf der rauhen Oberfläche des Materials niederschlagen und der schleimige Besatz und die kolloidalen Stoffe derselben durch Absorption und Katalyse die gelösten Stoffe des Abwassers ausfällen. Der zweite Teil des Reinigungsvorganges ist biologischer Art, indem durch Oxydation bei ausreichender Luftzuführung infolge der Tätigkeit von Lebewesen der Abbau der niedergeschlagenen Schmutzstoffe, die Regenerierung des Körpers erfolgt. Die dauernde Aufrechterhaltung einer ausreichenden Luftzuführung ist daher erstes Erfordernis für die Brockenkörper. Sie wird erreicht durch Verwendung von nur hartem und widerstandsfähigem Brockenmaterial. Weiches und der Verwitterung ausgesetztes Material, wie Tuffstein, zerfallende Kohlen- oder Koksarten, sind auszuschließen. Ebenso muß der Betrieb so eingerichtet werden, daß die Ruhepausen zum Abbau der zurückgehaltenen Schmutzstoffe ausreichen. Um die Lufträume nicht zuzukleben, dürfen die Körper nur mit in Absitzbecken gut vorgereinigtem Abwasser beschickt werden.

Da die Durchlüftung beim Füllverfahren nicht so gründlich ist wie beim Tropfverfahren, muß Korngröße und Körperhöhe bei ihm

Abb. 48.

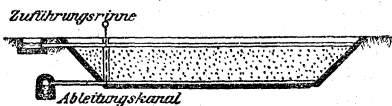
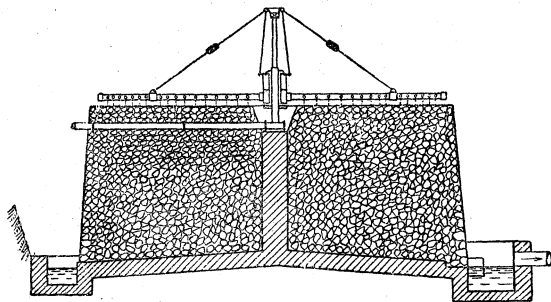


Abb. 49.



geringer gehalten werden. Die Korngröße ist bei ersterem daher nur 3 bis 10 mm, gegen 20 bis 80 mm bei letzterem, die Körperhöhe 0,3 bis 1 m gegen 1,5 bis 3 m zu wählen.

Beim Füllverfahren sind $\frac{1}{2}$ bis 1 st auf das Füllen, 2 st auf das Vollstehen, 1 bis 2 st auf das Entleeren, 4 bis 6 st auf das Leerstehen zu rechnen. Beim Tropfverfahren ist die Luftzuführung eine ununterbrochene, der Betrieb daher ein Dauerbetrieb; jedoch empfiehlt es sich auch hier, kleinere Ruhepausen einzuschalten.

Die Füllkörper liefern einen klaren, von Schwimmstoffen freien Abfluß, bei dem eine Nachklärung entbehrt werden kann. Alles abgebaute Material bleibt im Körper und muß ein- bis zweimal im Jahr ausgeschlämmt werden. Bei den Tropfkörpern dagegen ist der an und für sich klare Abfluß stets mit einer größeren Menge von abgebauten Schwimmstoffen durchsetzt. Hier ist eine Nachklärung auf Boden- oder Sandfiltern nicht zu entbehren.

Die Leistung der Körper ist im Winter eine geringere als im Sommer. Der Betrieb muß dann eingeschränkt werden. Ein Einfrieren ist nicht zu befürchten, wenn der Körper ausreichend groß ist. Auf 1 Tages-cbm Abwasser sind 2 cbm Brockenmaterial zu rechnen.

An Stelle der künstlichen Brockenkörper wird bei der **Bodenfiltration** der natürliche Erdboden zur Reinigung der Abwässer benutzt. Die Betriebsweise ist die gleiche wie beim Füllverfahren. Wagerecht abgeglichene Bodenflächen werden zeitweilig mit Abwasser überstaut. Die Ruhepausen sind notwendig, um die Bodenporen wieder mit Luft-sauerstoff zu füllen. Nur gut durchlässiger Boden kann gebraucht werden. Auch bedürfen die Abwässer einer gründlichen Vorbehandlung, damit sich die Bodenporen namentlich an der Oberfläche nicht zusetzen. Ebenso darf der Grundwasserspiegel nicht höher als höchstens 2,0 m unter Gelände stehen, weil sonst die Filtertiefe nicht ausreicht für die chemische Umwandlung der Stoffe. Eine landwirtschaftliche Bebauung der Flächen ist bei der raschen Folge der Ueberstauungen nicht angängig. Auf 1 ha Bodenfläche können je nach der Bodenart die Abwässer von 2500 bis 5000 Köpfen, d. h. 250 bis 500 Tages-cbm oder 90 000 bis 180 000 Jahres-cbm geklärt werden.

Die vollkommenste Reinigungsart ist das **Rieselfverfahren**, bei dem für den Reinigungsvorgang außer der Bodenfiltration noch die Lebens-tätigkeit höherer Nutzpflanzen herangezogen wird.

Am besten eignet sich für die Anlage von Rieselfeldern ein humoser, leicht lehmiger oder mergelhaltiger Sandboden von mittlerer Korn-größe oder ein stark sandhaltiger Lehm Boden. Schwerer Lehm- und Tonboden bietet große Schwierigkeiten. Der natürliche oder künstlich durch Drainage gesenkte Grundwasserspiegel muß mindestens 1,5 m unter der Oberfläche liegen.

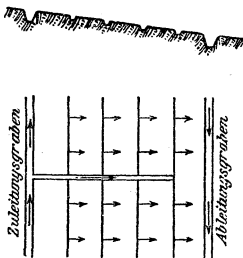
Nur bei reinem, grobkörnigem Sandboden ist eine künstliche Drainierung der Felder nicht erforderlich. Ueberall sonst ist sie zur guten Durchlüftung des Bodens, der Lebensbedingung für jede Bakterien-tätigkeit, nicht zu entbehren. Je nach der Bodenbeschaffenheit sind die 50 bis 80 mm weiten Saugedrainleitungen in Abständen von 4 bis 10 m mit Gefällen von nicht unter 3,7 vT und mit einer Deckung von mindestens 1,2 m zu verlegen. Die Sauger münden in die 100 bis

120 mm weiten Sammeldrains, die mit Gefällen von nicht unter 2 vT zu den Entwässerungsgräben führen, wo sie 30 cm über dem Mittelwasser derselben eingeführt werden. Die Entwässerungsgräben werden in die Geländemulden gelegt und vereinigen sich zu den Hauptentwässerungsgräben, die zu den Vorflutern der Rieselfelder führen. Die Gräben sind mit mindestens $1\frac{1}{2}$ -fachen Böschungen anzulegen, der Böschungsfuß ist durch ein- oder zweistufige Stangenfaschinen zu sichern. Ihr Gefälle soll nicht unter 1:1500 betragen.

Die Drainwässer sind noch reich an organischen Nährstoffen und neigen daher, namentlich während der kalten Jahreszeit, stark zur Algenbildung. Zur weiteren Ausnutzung der Nährstoffe und zur Bekämpfung der durch die Algenbildung in den Vorflutern erzeugten Mifsstände sind überall, wo die Geländebeziehungen es gestatten, Staustufen in den Hauptentwässerungsgräben einzubauen und das Drainwasser entweder über Doppelberieselungsanlagen oder in größere Fischteiche einzuleiten. Die Abwässer dieser Anlagen haben dann einen so hohen Grad der Reinheit, daß sie unbedenklich selbst kleinen Vorflutern zugeführt werden können.

Die Feldflächen werden als Wiesen, Beete oder Einstaubecken eingerichtet. Auf den am stärksten geneigten Flächen (über $1\frac{1}{2}$ vH)

Abb. 50.



werden **Wiesen im Hangbau** (Abb. 50) angelegt, bei denen das Rieselwasser von dem am höchsten Kante angeordneten Zuleitungsgraben aus über die Wiese fließt.

Bei schwächerer Geländeneigung tritt der **Rückenbau** (Abb. 51), bei wagerechten Flächen der **Beetbau mit Furchenberieselung** (Abb. 52) ein. Bei letzterem wird das Wasser in wagerechten, die $1\frac{1}{2}$ bis 2 m breiten Beete umgebenden Furchen eingestaut, von denen aus es seitwärts in die Beete dringt und nur die Wurzeln, nicht die Pflanzen selbst erreicht. Bei den **Einstaubecken** wird das Wasser in einer Tiefe von 30 bis 50 cm zwischen Dämmen eingestaut.

Abb. 51.

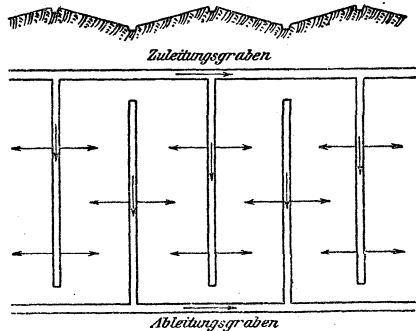


Abb. 52.



Als Rieselpflanzen kommen auf den Wiesen nur Gras und Futterrüben, auf den Beeten Gemüsepflanzen in Frage. Nur auf den Einstau-becken können Getreide und Oelfrüchte gebaut werden. Eingestaut wird im Winter. Im Frühjahr nach der Versickerung und Verdunstung des Wassers wird die Fläche umgepflügt und dann bestellt.

Je nach der Höhenlage der Rieselfelder zur Stadt erfolgt die Zu-leitung der Abwässer in offenen oder geschlossenen Gefälleleitungen (Dortmund, Freiburg i. Br.) oder meist in Druckrohrleitungen. Letztere enden auf dem höchsten Geländepunkt in einem offenen Standrohr, das als Sicherheitsventil für die Druckrohrleitung und zur Anbringung eines auf einem Schwimmer stehenden Signals dient, das den Riesel-wärtern die Höhe des Druckes im Druckrohr anzeigt. Von dem Stand-rohr zweigen die Verteilungsleitungen mit den Druckverhältnissen ent-sprechend bis zu 200 mm abnehmenden lichten Weiten nach den auf den Geländekuppen angeordneten Auslafsschiebern ab.

Höchst wichtig ist es, an den Auslafsschiebern nicht unter 600 qm grofse Klärbecken anzulegen, um die Schwimm- und Faserstoffe ab-zufangen, die sonst die Oberfläche der Felder verfilzen. Von diesen Schieberbecken aus wird das Wasser in 50 cm tiefen, teils in das Gelände eingeschnittenen oder auf Dämmen angeordneten Zuführungs-gräben in Gefällen von 5 bis 2 vT den Feldern zugeführt. Zur Ver-teilung des Wassers über die einzelnen Schläge werden in diesen Gräben an den Abzweigungsstellen hölzerne, in Rahmen geführte Schütze ein-gebaut.

Auf 1 ha Rieselland entfallen auf den Berliner Feldern die Abwässer von etwa 250 bis 350 Einwohnern, d. h. 27 bis 40 Tages-cbm oder 10 000 bis 15 000 Jahres-cbm. Andere Städte gehen wesentlich weiter, z. B. Charlottenburg mit 130 Tages-cbm und 47 000 Jahres-cbm für 1200 Ein-wohner, Kottbus sogar bis zu 65 000 Jahres-cbm bei nur 700 Personen. Entscheidend dabei ist die Bodenbeschaffenheit, der Grad der Ver-dünnung der Abwässer und die mehr oder weniger gründliche Vor-behandlung der Abwässer in den Kläranlagen.

FÜNFZEHNTER ABSCHNITT.

EISENBAHNWESEN.

A. REIBUNGSBAHNEN.

Bestimmungen über Bau und Betrieb der Eisenbahnen.

I. Vertragsbestimmungen zwischen dem Deutschen Reiche und anderen Staaten.

II. Bestimmungen für das Gebiet des Deutschen Reiches: Reichsgesetze und Erlasse des Bundesrats auf Grund der Reichsverfassung (Artikel 4, 41 bis 47) Die Beachtung der Bestimmungen überwacht das Reichseisenbahnamt (R. E. A.).

Die Bestimmungen zu I und II gehen allen anderen voran. Die zu II sind für Bayern nur bindend, soweit die Rücksicht auf Landesverteidigung und gemeinsamen Verkehr dies verlangt.

III. Landesgesetze und Bestimmungen der Landes - Aufsichtsbehörden.

IV. Bestimmungen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen. *) Diese enthalten bindende und als Regel geltende Vorschriften.

V. Vorschriften der einzelnen Bahnverwaltungen.

Die wichtigsten Bestimmungen **) tragen die nachstehenden Benennungen und sollen mit den beigefügten **Abkürzungsbezeichnungen** im folgenden angezogen werden:

Zu I. Bestimmungen durch Staatsverträge:

1. **T E. . . .** Bestimmungen betreffend die technische Einheit im Eisenbahnwesen (Berner Vereinbarungen), seit 1. VII. 1908. ***)
2. Vorschriften über die zollsicere Einrichtung der Eisenbahnwagen im internationalen Verkehre, seit 1. VII. 1908. †)

Zu II. Bestimmungen des Reiches:

1. **B O. . . .** Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung, vom 4. XI. 1904 u. 24. VI. 1907. ††)

*) Das Gebiet des **V. D. E. V.** umfasst fast alle vollspurigen Eisenbahnen Deutschlands, Oesterreich-Ungarns und Rumäniens, außerdem einen Teil der Eisenbahnen in Belgien, Holland, Luxemburg, sowie die Bahn Warschau-Wien.

**) Die Bestimmungen zu II. amtlich bei Carl Heymann und bei J. Springer, Berlin; die Bestimmungen zu IV. in Kommission bei C. W. Kreidel, Wiesbaden.

***)) Eisenbahn-Verordn.-Blatt 1908 S. 189.

†) E. V. Bl. 1908 S. 181. ††) E. V. Bl. 1905 S. 15 und 1907 S. 292.

2. **S0**. Signalordnung für die Eisenbahnen Deutschlands, vom 24. VI. 1907 u. 12. III. 1910.*)
3. **EVO**. Eisenbahn-Verkehrsordnung vom 17. XII. 1908.
4. Eisenbahnpostgesetz, vom 20. XII. 1875. Bestimmungen betreffend die Verpflichtungen der Nebeneisenbahnen zu Leistungen für Zwecke des Postdienstes, vom 28. V. 1879.
5. Uebereinkommen betr. Bildung eines Deutschen Staatsbahnwagenverbandes (1909).

Zu III. Bestimmungen für Preußen:

1. Gesetz über die Eisenbahnunternehmungen, vom 3. XI. 1838.
2. **EGz**. Gesetz über die Enteignung von Grundeigentum, vom 11. VI. 1874.
3. **KGz**. Gesetz über Kleinbahnen und Privatanschlußbahnen, vom 28. VII. 1892. Dazu die **KGz. A.** Ausführungs-Anweisung und die **Br. f. Kl.** Betriebsvorschriften für nebenbahnähnliche Kleinbahnen mit Maschinenbetrieb vom 13. VIII. 1898, dsgl. für Straßenbahnen vom 26. IX. 1906.**)
4. **Br. f. P.** Betriebsvorschrift für Privatanschlußbahnen vom 30. IV. 1902.***)

Zu IV. Bestimmungen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen:

1. **TV**. Technische Vereinbarungen über den Bau u. die Betriebseinrichtungen der Haupt- u. Nebeneisenbahnen; 1. I. 1909 und Nachträge.
2. **Grz**. Grundzüge für den Bau und die Betriebseinrichtungen der Lokaleisenbahnen; 1. I. 1909.

Als Vereinbarung der meisten Eisenbahnverwaltungen innerhalb des Deutschen Reiches sind hervorzuheben:

3. **FV**. Fahrdienstvorschriften vom 1. VIII. 1907. Enthalten Vorschriften über die mit der Beförderung der Züge im Zusammenhange stehenden Dienstverrichtungen.

Zu V. Vorschriften für die Preussisch-Hessische Eisenbahn-Gemeinschaft:†)

1. **V. f. V.** Vorschriften über allgemeine Vorarbeiten für Eisenbahnen (1897).
2. **A. f. S.** Anweisung für das Entwerfen von Eisenbahnstationen, mit besonderer Berücksichtigung der Weichen- und Signal-Stellwerke (1905, Neuauflage 1912).
3. Die Oberbau-Anordnungen (1910). Vorschriften für die Herstellung, Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues (1909).
4. Die Weichen der Preuß. Staatsbahnen (1900 und folgende Jahre). Leitsätze für die Verwendung und Unterhaltung der Weichen (1910).
5. Grundsätze und Grundrißmuster für das Entwerfen von Stationsgebäuden (1909), Lokomotiv- (1908) und Güterschuppen (1901††).

*) E. V. BL 1907 S. 277 und 1910 S. 117.

**) E. V. BL 1898 S. 225, 245; 1900 S. 605; 1902 S. 538; 1906 S. 563.

***) E. V. BL 1902 S. 213.

†) Zu III und V ist hier als Beispiel nur diese berücksichtigt. — Näheres über alle amtlichen Vorschriften s. Cauer, Betrieb und Verkehr der Preussischen Staatsbahnen, 1897, 1903.

††) E. V. BL 1901 S. 231 und 1908 S. 29. Z. f. B. 1909 S. 247 und 1910 S. 265.

6. Grundsätze für Entwürfe und die Ausführung von Dienst- und Mietwohnhäusern für Arbeiter, untere und mittlere Beamte (1906).*)
7. Grundzüge für den Bau von Uebernachtungsgebäuden (1900).
8. Telegraphenbauordnung (1902).
9. Grundsätze für die Ausführung elektrischer Blockeinrichtungen (1899).**)
10. Sammlung betrieblicher Vorschriften (1910).
11. Musterzeichnungen für Fahrzeuge und maschinelle Einrichtungen.

I. BAHNBAU.

A. Vorarbeiten.

I. Geschäftsgang in Preußen.***)

Allgemeine Vorarbeiten sollen die wirtschaftliche und technische Zweckmäßigkeit und die ungefähren Kosten einer Bahnlinie nachweisen; sie bilden die Unterlage für die Bauerlaubnis für Privatbahnen und der Geldbewilligung für Staatsbahnen. Die Erlaubnis für die Vorarbeiten („Vorkonzession“) erteilt der Minister der öffentlichen Arbeiten. Die Vorschriften über das Betreten fremden Eigentums s. EGz. § 5. — Die Bauerlaubnis und das Recht zur Enteignung nach dem EGz. erteilt das Landesoberhaupt (EGz. § 2).

Ausführliche Vorarbeiten bezwecken die Aufstellung des Bauentwurfes für die Ausführung. Sie werden (bei Privatbahnen nach technischer Prüfung durch den vom Minister als „Eisenbahnkommissar“ bestellten Präsidenten einer Eisenbahndirektion) „landespolizeilich“ von dem Regierungspräsidenten bezüglich der berührten Wege und Vorflutverhältnisse geprüft und hierauf vom Minister der öffentlichen Arbeiten (vorläufig) festgestellt. Es folgt die Erwerbung der Grundstücke bzw. Bauerlaubnis durch Vereinbarung oder auf dem Rechtswege und der Baubeginn.

II. Grundzüge für die Vorarbeiten.

a. Art und Umfang der Arbeiten.

Die Ausführung der Vorarbeiten bedeutet: Ausmittlung der zweckmäßigsten Linie und ihre Ausarbeitung zum vollständigen Bauentwurf. Ersteres bedingt, daß die Gesamtkosten — die Verzinsung der Anlagekosten und die Betriebs- und Unterhaltungskosten zusammen — möglichst klein werden.†)

Die Betriebskosten wachsen u. a. namentlich mit den Steigungs- und Krümmungswiderständen. Die Leistung jeder Lokomotivgattung wird am besten ausgenutzt, wenn der Widerstand möglichst gleichmäÙig bleibt. Deshalb Grundregel der technischen Linienführung: Aufsuchen von Linien mit möglichst gleichbleibendem Widerstande und Vergleich der Möglichkeiten zur Ausmittlung der zweckmäßigsten Linie.

*) E. V. Bl. 1906 S. 489. **) E. V. Bl. 1899 S. 255.

***) Als Beispiel ist hier der in Preußen bestehende Geschäftsgang gewählt.

†) V. f. V. 1897. Ferner H. d. l. W. Tl. I, Vorarbeiten u. Bauleitung. Launhardt Theorie des Trassierens, Hannover 1884 u. 1888. Auch dessen Aufsätze im Z. d. B. 1883 S. 237 (Wirtsch. Fragen des Eisenbahnwesens); 1894 S. 256 (Der gemeinwirtsch. Nutzen der Eisenbahnen); 1897 S. 286 (Bauwürdigkeit von Nebenbahnen).

b. Widerstände und Zuglänge.

Bezeichnet:

- μ die Reibungszahl zwischen Triebbad und Schiene (i. M. $\mu = 0,14$ bis 0,16; bei feuchter Luft, Schnee-, Laubfall u. dgl. erheblich niedriger, ausnahmsweise beim Anfahren bis 0,20, bei guten Sandstreuern bis 0,25), vgl. Abschn. Lokomotiven e 2.
 L das Gewicht der Lokomotive (betriebsfähig) mit Tender in t.
 L_1 das Reibungsgewicht der Lokomotive in t (Adhäsionsgewicht),
 Q das Gewicht des Zuges ohne Lokomotive und Tender in t,
 $G = L + Q$ das Gesamtgewicht des Zuges in t,
 q das durchschnittliche Gewicht der belasteten Wagenachse in t,
 q_w das Gewicht des einzelnen Wagens,
 i die Achsenzahl des Zuges ohne Lokomotive und Tender,
 n die Wagenzahl des Zuges,
 V die Fahrgeschwindigkeit in km/st = 3,6 v m/sk,
 Z die mittlere Zugkraft der Lokomotive am Triebbradumfang in kg,
 N die Kesselleistung in PS (Dauerleistung),
 H die Heizfläche in qm,
 R den Halbmesser der Bahnkrümmung in m,
 α den Neigungswinkel der Strecke,
 s die Steigung in mm auf 1000 mm Länge der Fahrbahn,
 w die Laufwiderstandszahl auf ebener, gerader Strecke für Wagen (einschließlich Luftwiderstand) in kg für 1 t Zuggewicht,
 w_1 dsgl. für Lokomotive mit Tender,
 w_r den Bewegungswiderstand in einer Krümmung vom Halbmesser R in kg für 1 t Zuggewicht,
 w_{r1} dsgl. für 1 t Lokomotivgewicht,
 w_s den Widerstand auf einer Neigung in kg für 1 t Zuggewicht,
 W den Gesamt-Bewegungswiderstand des ganzen Zuges in kg, so ist

$$W = \frac{w Q + w_1 L}{w_0 G} + w_s G + w_r Q + w_{r1} L \quad . . \quad 1)$$

 α) Widerstand in gerader, wagerechter Fahrbahn (Normalspur).

Nachstehende Widerstandsformeln sind Durchschnittswerte; sie berücksichtigen nicht besondere Einflüsse (z. B. starken Wind, starke Kälte, Schnee usw.)

1. Widerstandszahlen für ganze Züge einschließlich Lokomotiven.

$$1) \quad w_0 = 2,4 + \frac{V^2}{1300} \quad \text{Erfurter Formel der Preuss. Staatsbahnen.}$$

$$2) \quad w_0 = 2,4 + 0,001 V^2 \quad \text{Bayerische Formel.}$$

$$3) \quad w_0 = 2,5 + 0,0006 V^2$$

für Güterzüge gemischter Zusammensetzung und Personenzüge mit leichten Wagen.

$$4) \quad w_0 = 2,5 + 0,0004 V^2$$

für beladene Rohgutzüge und D-Züge.

Nur bei Ueberschlagsrechnungen. Für genauere Rechnungen sind die Widerstände von Lokomotive und Wagenzug einzeln zu ermitteln.

2. Widerstandszahlen für Lokomotiven einschl. Tender.

Nach Frank (Z. d. V. d. I. 1907 S. 96) ist für Lokomotiven

$$w_1 = 2,5 + 0,067 \left(\frac{V}{10} \right)^2.$$

Zu dem Laufwiderstand als Fahrzeug treten die Widerstände im Triebwerk und in den Steuerungsteilen. Widerstand ist ferner abhängig von der Zahl der gekuppelten Achsen, Zahl der Zylinder, Steuerungsbauart (Flach- oder Kolbenschieber), von der Fahrgeschwindigkeit, der Zugkraft, dem Dienstgewicht im Verhältnis zum Reibungsgewicht und dem Unterhaltungszustand.

Am einwandfreiesten ist daher die Anwendung besonderer Formeln für einzelne Lokomotivgattungen oder Bauartgruppen.*)

3. Widerstandszahlen für Eisenbahnwagen.

Bei einem Wagenzuge mit gleichen ideellen Flächen f nebst Gepäckwagen (hinter der Lokomotive) Frank:

$$w = 2,5 + 0,0142 \left(\frac{V}{10} \right)^2 + 0,54 \left(\frac{2 + n f}{n q_w} \right) \left(\frac{V}{10} \right)^{2**}$$

Hierin ist die Aequivalentfläche für den Luftdruck auf einen Wagen für jeden Personenwagen und bedeckten Güterwagen $f = 0,56 \text{ qm}$
 für jeden beladenen Güterwagen $f = 0,32 \text{ „}$
 für jeden leeren offenen Güterwagen $f = 1,62 \text{ „}$

Näherungsformel:

$$w = 2,5 + b \left(\frac{V}{10} \right)^2,$$

- $b = \frac{1}{40}$ für Schnell- und Personenzüge (300 bis 500 t) aus lauter (D-Zug- oder) vierachsigen Abteilwagen;
- $= \frac{1}{30}$ für Personenzüge (300 bis 400 t) aus zwei- oder dreiachsigen Abteilwagen;
- $= \frac{1}{44}$ für Güterzüge (800 bis 1300 t) aus vollbeladenen offenen Güterwagen (Kohlenzüge);
- $= \frac{1}{30}$ für Güterzüge (Eilgüterzüge) aus halbbeladenen bedeckten Güterwagen;
- $= \frac{1}{20}$ für Güterzüge (800 bis 1000 t) aus Wagen, die zur Hälfte bedeckt oder offen, zur Hälfte beladen oder leer sind;
- $= \frac{1}{10}$ für Güterzüge (400 bis 600 t) aus leeren Wagen zur Hälfte bedeckt, zur Hälfte offen;
- $= \frac{1}{7}$ für leere Kohlenwagenzüge (300 bis 500 t).

β) Widerstand auf Steigungen oder Gefällen (Normalspur).

$$w_s = \pm s.$$

*) Stockert, Eisenbahnmaschinenwesen II. S. 69. — Revue générale d. ch. de fer 1904 S. 196.

**) Z. d. V. d. I. 1907 S. 94.

γ) Widerstand in Krümmungen (Normalspur).

$$w_{r1} = \frac{650}{R-55} \text{ v. Röckl (Bayerische Staatsbahnen)}$$

$$\left. \begin{aligned} w_r &= \frac{d}{R} \left(180 - \frac{1000 d}{R} \right) \text{ für Personenzüge,} \\ w_r &= \frac{d}{R} \left(180 - \frac{2000 d}{R} \right) \text{ für Güterzüge,} \end{aligned} \right\} \text{ Frank*)}$$

worin d = Radstand des Fahrzeuges.

Bemerkung: In Bayern und Oesterreich wurde die Röcklsche Gleichung gesetzlich für den Ausgleich der Neigungsverhältnisse auf Gebirgsbahnen vorgeschrieben. Bei den preussisch-hessischen Staatseisenbahnen ist sie für die Fahrplanberechnung der Personenzüge in Gebrauch. Italien hat die geänderte Form $\frac{600}{R-50}$ angenommen.

δ) Widerstand bei Schmalspurbahnen.

Für **Schmalspur** fehlt es an Versuchen. Man rechnet häufig mit:

Spur mm	w in kg/t	w_1 in kg/t	w_r in kg/t
1000	$2,6 + 0,0003 V^2$	$2,7 \sqrt{a} + 0,0015 V^2$	$400 : (R - 20)$
750	$2,7 + 0,0002 V^2$	$2,8 \sqrt{a} + 0,001 V^2$	$350 : (R - 10)$
600	$2,8 + 0,0002 V^2$	$2,9 \sqrt{a} + 0,0008 V^2$	$200 : (R - 5)$

Hierin ist $a = 3$ für schwerere Güterzug- und $= 2$ für Personenzuglokomotiven zu setzen. Der Neigungswiderstand ist $\pm s$.

Der Krümmungswiderstand ist sehr abhängig vom Fahrzeugradstand.

ε) Gesamtwiderstand und Zugkraft bei Normalspur.

Der **Gesamtwiderstand** eines Eisenbahnzuges überschläglich:

$$W = \left(2,4 + \frac{V^2}{1300} \pm s + \frac{650}{R-55} \right) G$$

oder genauer:

$$W = \left[2,5 + 0,067 \left(\frac{V}{10} \right)^2 \right] L + \left[2,5 + b \left(\frac{V}{10} \right)^2 \right] Q \pm s G$$

$$+ \frac{650}{R-55} L + \frac{d}{R} \left(180 - \frac{1000 \text{ bzw. } 2000 d}{R} \right) Q.$$

$$W \approx Z.$$

Weiteres über den Zusammenhang zwischen W , Z und Lokomotivleistung s. Abschn. Lokomotiven e. I.

Länge und Belastung der Züge. Nach TV. § 159 ist die Länge nach den Neigungsverhältnissen, den Gleisanlagen und sonstigen Einrichtungen der Stationen sowie der Bauart der Fahrzeuge zu bemessen.

*) Z. d. V. d. I. 1903 S. 460.

Bei größter Belastung der Züge (TV. § 159) soll unter Berücksichtigung der Bahnneigungen und Zuggeschwindigkeiten bei der Fahrt im Beharrungszustande die Zugkraft an der Spitze des Zuges 10 t in der Regel nicht überschreiten.

Größte Zugstärken nach B. O. § 54. Die zulässigen Größtwerte a der Wagenachsenzahl bei V in km/st sind

		Hauptbahnen				Nebenbahnen		
		1	2	3	4	5	6	7
Personenzüge	V	≤ 50	51—60	61—80	> 80	≤ 30	31—40	> 40
	a	80	60	52	44	80	40	26
Güterzüge	V	≤ 45	46—50	51—55	56—60	bis zu 30 km		
	a	120	100	80	60	120		

In Personenzügen darf für jeden sechssachsigen Wagen die Zahl a um je 2 Achsen, in Spalte 3 bis zu 60, in Sp. 4 bis zu 52, in Sp. 6 bis zu 48 und in Sp. 7 bis zu 30 Wagenachsen erhöht werden.

Für Güterzüge mit $V \leq 45$ kann bei günstigen Neigungen und Krümmungen sowie ausreichenden Bahnhofsanlagen die Landes-Aufsichtsbehörde $a = 150$ zulassen. Für Militär- und für Güterzüge mit regelmäßiger Personenbeförderung ist $a = 110$ zulässig, sofern $V \leq 45$ für Haupt- und ≤ 30 für Nebenbahnen.

Für Lokalbahnen ist Zuglänge nach den Neigungsverhältnissen der Bahn und den Einrichtungen der Bahnhöfe sowie der Bauart der Fahrzeuge zu bemessen (Grz. § 96).

Beispiele für die Art der Rechnung.

1. **Wieviel Zuggewicht (Q) zieht eine gegebene Güterzuglokomotive** auf einer bestimmten Steigung (s) mit einer gewissen Geschwindigkeit (V) dauernd bergan, wenn zugleich zahlreiche Krümmungen (R) vorhanden sind?

Es sei $L = (52,9 \text{ t} + 33,3 \text{ t}) = 86,2 \text{ t}$; $H = 139 \text{ qm}$; $V = 20 \text{ km/st}$; $R = 300 \text{ m}$; $s = 2 \text{ ‰}$; dann ist bei gemischt zusammengesetztem Güterzuge überschläglich:

$$w_0 = 2,5 + 0,0006 \cdot 20^2 = 2,74 \text{ kg/t}$$

oder genauer

$$w_1 = 2,5 + 0,067 \left(\frac{V}{10} \right)^2 = 2,768 \text{ kg/t}, \quad w = 2,5 + \frac{1}{20} \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 = 2,7 \text{ kg/t}$$

$$w_r = \frac{650}{300 - 55} = 2,66 \text{ kg/t}, \quad w_s = 2 \text{ kg/t}$$

$$W = (2,74 + 2,66 + 2) \cdot (L + Q) \text{ oder genauer } W = (2,768 + 2,66 + 2) \cdot L + (2,7 + 2,66 + 2) \cdot Q = 7,428 L + 7,36 Q$$

Die Zugkraft der Lokomotive ist gemäß Formel im Abschn. Lokomotiven e. 1.

$$Z = \left(\frac{162}{20} + \frac{142}{\sqrt{20}} \right) \cdot 139 = 5546 \text{ kg} = W \text{ somit } Q = \frac{5546 - 7,428 \cdot 86,2}{7,36} = (\text{rd.}) 670 \text{ t}$$

Ist das durchschnittliche Gewicht der Achse = 8 t, so erhielte man rd. 84 Wagenachsen. Wenn der Zug nur beladene offene Rohgutwagen enthält, so würde $w = 2,5 + \frac{1}{44} \left(\frac{V}{10} \right)^2 = 2,59$ betragen, das mögliche Zuggewicht auf rd. 680 t steigen und bei durchschnittlich 8 t Eigengewicht des Wagens und 15 t Last die Zahl der zu befördernden Achsen sich auf $\frac{680}{11,5} = 60$ ermäßigen.

2. Ein **D-Zug** soll mit $V = 90$ km/st befördert werden durch eine Lokomotive von $H = 178$ qm, $L = 60$ t, $T = 40$ t. Wie schwer kann der Wagenzug sein bei 1, 2 und 3 vT.

$$Z = 166,5 \cdot 178 : \sqrt{90} = 3140 \text{ kg}; \quad w_1 = 2,5 + 0,067 \left(\frac{V}{10} \right)^2 = 7,93 \text{ kg/t};$$

$$w = 2,5 + \frac{1}{40} \left(\frac{V}{10} \right)^2 = 4,5 \text{ kg/t}; \quad w_s = 1, 2 \text{ oder } 3 \text{ kg/t}.$$

a) $s = 1$ vT; $Q = (3140 - 8,93 \cdot 100) : 5,5 = 410$ t

b) $s = 2$ vT; $Q = (3140 - 9,93 \cdot 100) : 6,5 = 330$ t

c) $s = 3$ vT; $Q = (3140 - 10,93 \cdot 100) : 7,5 = 275$ t.

Bei $s = 3$ vT würden also nur noch etwa 6 D-Wagen möglich sein; es würde demnach für größere Wagenzahl V vermindert werden müssen.

3. Ist die Zugkraft für einen bestimmten Wagenzug aus $Z \geq wQ + w_1 L$ zu bestimmen, so sind L und T zunächst zu schätzen.

c. Zweckmäßigstes Steigungsverhältnis.

Ist eine Höhe h mit gegebener Lokomotivgattung und annähernd gleicher Geschwindigkeit zu ersteigen und sind Linien verschiedener Länge möglich, so ist die Steigung s_z die zweckmäßigste, für die $\frac{\text{Zuggewicht}}{\text{Weglänge}}$

$$= Q : \frac{h}{s} \text{ am größten, mithin die Hebung am billigsten wird.}$$

In gerader oder sanft gekrümmter Strecke ist dann

$$s_z = -w + (w + w_r + w_s) \sqrt{\frac{Z - w_s L}{w L}} + 1.$$

d. Mafsgebende und unschädliche Steigung.

Die Durchführung möglichst gleichmäßigen Widerstandes behufs Ausnutzung der Zugkraft verlangt Ermäßigung der größten Steigung s_m in den schärferen (und längeren) Bogen um w_r , so dafs $s + w_r \leq s_m$ bleibt. Diese Steigung s_m ist für die Zugkraft und Zuglänge bestimmend, mithin für die Linienführung „mafsgebend“; sie ist bei größeren Hebungen (mit Ausnahme von Anlaufsteigungen) tunlichst dem zweckmäßigsten Steigungsverhältnisse zu nähern, sofern dieses durch Lokomotivgattung und Fahrgeschwindigkeit bereits feststeht. Andernfalls sind letztere der festgesetzten mafsgebenden Steigung entsprechend zu gestalten.

Steigungen unter dem Bremsgefälle s_b , also Werte

$$s_b < w \text{ in Geraden, oder } s_b < (w + w_r) \text{ in Bogen,}$$

sind „unschädlich“, sofern die jährlich in beiden Richtungen zu befördernden Brutto-Zuggewichte nicht sehr verschieden sind. Liegt die mafsgebende Steigung s_m unter der Bremsneigung, so sinkt auch die Grenze für die unschädliche Steigung um ebensoviel darunter hinab.

Uebertrifft die mafsgebende Steigung die Gröfse s_b , so hat die Linie das Wesen der Gebirgsbahn. Alsdann ist jedes verlorene Gefälle sorgfältig zu vermeiden, denn schon jede unter s_m (oder $s_m - w_r$) herabgehende Steigung s auf eine Höhe h bildet einen Längenüberschufs von der Gröfse $(h:s) - (h:s_m)$, der besser zur Ermäßigung von s_m für die ganze Linie ausgenutzt würde.

Liegt s_m unter s_b , so ist die Linie eine Flachlandbahn, und verlorene Gefälle mit unschädlichen Steigungen ist (theoretisch) ohne Nachteil.

Die Steigungsermäßigung bei den (in der Größtsteigung liegenden) Bogen geschieht zweckmäßig wie folgt durch Zeichnung im Längsprofil:

Es sei s_0 die vorläufig bei der Linienermittlung benutzte Durchschnittsteigung, l deren Länge und $H = s_0 l$ deren Höhe. Man bilde dann für die darin vorkommenden Bogen die „Widerstandshöhen“ $h_r = w_r l_r$; alsdann wird die maßgebende Steigung

$$s_m = \frac{H + \sum (w_r l_r)}{l}.$$

s_m bleibt in den Geraden ungeschmälert und wird in jeder Krümmung um das zugehörige w_r ermäßigt (also das Ende des Bogens um h_r herabgedrückt).

Da, wo bereits aus anderen Gründen $s < s_m$ ist, kommt dieser Unterschied ($s_m - s$) in Bogen bei der Ermäßigung von w_r in Abzug; ist $s_m - s \geq w_r$, so unterbleibt die Ermäßigung, denn es soll ja nur $w_r + s$ nicht s_m überschreiten.

Kurze stärkere Steigungen können durch vorübergehende Erhöhung der Dampfkraft (Füllungsänderung) oder auch durch „Anlauf“ überwunden werden. Dies ist nur unmittelbar vor Bahnhöfen, wo ohnehin gehalten werden muß, ohne Nachteil.

c. Vergleich verschiedener Linien.

Die wirtschaftlichste Linie ist durch Vergleich der jährlichen Verkehrskosten für verschiedene Linienführungen zu bestimmen. Die Stationskosten sowie die allgemeinen Kosten können hierbei außer acht bleiben. Die zum Vergleich kommenden Teile der jährlichen Verkehrskosten S stellen sich alsdann dar in der Form

$$S = (iA + U) + F.$$

Hierin bezeichnet A die Anlagekosten, i den Zinsfuß, U den von Verkehr und Linienführung weniger abhängigen Teil der Betriebskosten (Bahnbewachung, Unterhaltung des Unterbaues usw.), der auf Grund statistischer Mittelwerte für 1 km Bahnlänge anzusetzen ist, jedoch bei wenig verschiedener Länge der Vergleichslinien als nahezu gleich unberücksichtigt bleiben darf.*) F bezeichnet die Zugförderungskosten (mit Einschluß der Abnutzung des Oberbaues), die von den Krümmungen und Steigungen, besonders aber von der maßgebenden Steigung abhängen.

U und F werden zweckmäßig auf Grund der Erfahrungen bei Bahnen mit ähnlichen Verhältnissen wie die Neubaulinie ermittelt**)

III. Vorschriften.

Die Vorschriften für das **Deutsche Reich** (s. S. 765) unterscheiden Haupt- (nur Vollspur 1,435 m) und Nebenbahnen (Vollspur oder Schmalspur 1,00 und 0,75 m).

Der **V. D. E. V.** (s. S. 765) teilt die Bahnen ein in

α) Hauptbahnen

β) Nebenbahnen: auf die Fahrzeuge der Haupteisenbahnen übergehen können; V höchstens 50 km/st.

γ) Lokalbahnen: vollspurige oder schmalspurige Bahnen, die vorwiegend dem Nahverkehre dienen; V in der Regel höchstens 35 km/st.

*) Bei sehr großer Verschiedenheit der maßgebenden Steigung kann auch gleiche Verkehrsgröße eine sehr ungleiche Zugzahl und dadurch eine Verdopplung des Bahnbewachungspersonals (Nachtdienst), mithin Vergrößerung von U bedingen.

**) Vgl. auch Z. f. A. u. I. W. 1899 S. 233.

Hierzu gehören die Kleinbahnen, durch geringere Verkehrsbedeutung gekennzeichnet. Kleinbahnen sind auch die Stadtbahnen (mit eigenem Bahnkörper oder auf Straßen), sofern sie auf den städtischen Innen- und Vorortverkehr beschränkt bleiben.

Die Lokalbahnen unterliegen den Reichsvorschriften nur insoweit, als Fahrzeuge der Hauptbahnen auf sie übergehen.

Die bindenden Bestimmungen der TV. (nachstehend durch einen Stern (*) hervorgehoben) müssen von jeder Vereins-Verwaltung des V. D. E. V. befolgt werden, sofern nicht durch Staatsverträge oder durch die obersten Aufsichtsbehörden hiervon abweichende Bestimmungen getroffen sind.

a. Sachliche Vorschriften.

Spurweite im geraden Gleise (zwischen den Fahrkanten 14 mm unter Schienenoberkante gemessen) bei Hauptbahnen und vollspurigen Neben- und Lokalbahnen 1,435 m (TV.* § 2), bei schmalspurigen Nebenbahnen 1,00 m oder 0,75 m (BO. § 9), bei schmalspurigen Lokalbahnen ist auch 0,60 m zulässig (Grz. § 2; K Gz. A.).

Abweichungen bis 10 mm über und 3 mm unter 1,435 m als Folge des Betriebes — bei Schmalspur entsprechend weniger — sind zulässig (BO. § 94; TV.* § 2; Grz. § 2).

Spurweite der Eisenbahnen anderer Länder.

Oesterreich-Ungarn, Schweiz, Italien, Frankreich, England, Niederlande, Dänemark Schweden, Balkanhalbinsel, Nordamerika haben vorwiegend, wie Deutschland, die Vollspur von $1,435 \text{ m} = 4' 8\frac{1}{2}''$ engl. oder nur wenige mm anders (Frankreich 1,44 bis 1,45). Größere Spurweiten kommen vor u. a. in Rußland (1,524 m. ausschl. Warschau—Wien und Warschau—Bromberg, die 1,435 m haben), Spanien und Portugal (1,676 m = $5' 6''$ engl.), Irland (1,6 m), Chile, Argentinien und Ostindien (vorwiegend 1,676 m). Schmalere Spurweiten sind vorwiegend in Griechenland, Alger, Brasilien (1,0 m), ferner in Norwegen, Japan, Java, Kapland, Südastralien (1,067 m = $3' 6''$ engl.). Ähnliche Spurweiten in den übrigen Teilen Australiens (verschieden) und in Britisch-Indien (neben der Breitspur besonders 1,0 m).

Spurerweiterung vgl. B. II. Oberbau, S. 795.

Umgrenzung des lichten Raumes (Normalprofil) für Haupt- und vollspurige Nebenbahnen, s. Abb. 1 bis 3 (BO. § 11; TV.* § 30 u. 34). Dabei ist auf Spurerweiterung und Schienenüberhöhung Rücksicht zu nehmen, d. h. die Breitenmaße vergrößern sich nach der inneren Seite einer Krümmung um die Spurerweiterung, und das Profil dreht sich um den Ueberhöhungswinkel. Der Drehpunkt ist in der Regel die Oberflächenmitte des Schienenkopfes des inneren Stranges.

Die in Abb. 1 punktierten Seitenlinien bezeichnen den bei Neubauten außerdem noch freizuhaltenden Spielraum.

In Abb. 2 kann das Maß 150 auf 135 mm eingeschränkt werden, wenn die erhöhten Teile fest mit den Schienen verbunden sind; ebenso ist statt 67 mm an Zwangsschienen allmähliche Verengung gestattet bis auf 41 mm bei Weichen und Kreuzungen, 45 mm bei Leitschienen und mit Genehmigung der Landes-Aufsichtsbehörde auf Wegeübergängen. In Krümmungen ist auf Spurerweiterung, soweit erforderlich, Rücksicht zu nehmen. Die Tiefe der Spurrinne von 38 mm muß auch nach Abnutzung des Schienenkopfes stets frei sein. Für Zahnstangenbahnen ist in der Mitte auf 500 mm Breite eine Einschränkung des freien Raumes bis 100 mm über S. O. zulässig (s. Abb. 3, BO. § 11; TV. § 8 u. 18).

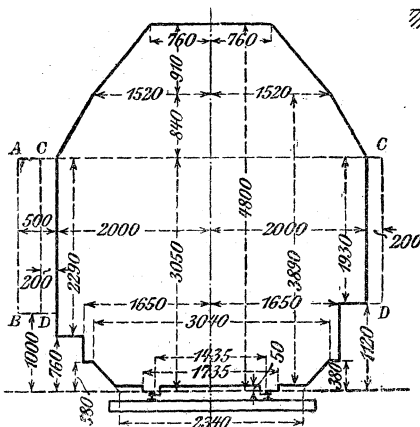
In Tunneln (TV. § 16) soll außerhalb der Umgrenzungslinie bis zur Wandung ein Spielraum von mindestens 400 mm bei eingleisiger und 300 mm bei zweigleisiger Bahn freibleiben. In diesem Spielraume dürfen die Stromleitungen elektrisch betriebener Bahnen untergebracht werden.

Für **vollspurige Lokalbahnen**, auf die Wagen von Hauptbahnen übergehen, gelten die Abb. 1 bis 3 ebenfalls. Findet Wagenübergang nicht statt, so ist das Normalprofil von Fall zu Fall nach den Betriebsmitteln der Lokalbahn festzustellen (Grz. § 23). Spielraum im Tunnel bei Lokalbahnen mindestens 200 mm (Grz. § 13).

Einschränkungen der Umgrenzungslinien vollspuriger Bahnen können an Ladegleisen, die nicht von durchgehenden Zügen befahren werden, von der Aufsichtsbehörde zugelassen werden; sonstige Abweichungen von der Umgrenzungslinie bei Hauptbahnen bedürfen der Genehmigung der Landes-Aufsichtsbehörde (BO. § 11⁸).

Umgrenzung des lichten Raumes für Schmalspurbahnen von 1,00 m Spurweite s. Abb. 4, von 0,75 m Spurweite s. Abb. 5; für 0,60 m Spurweite gilt (unter Abänderung der Maße 375 in 300 mm) Abb. 5 gleichfalls; die Durchführung der Umgrenzung bei 1,00 m Spur (Abb. 4) auch für die Spurweite von 0,75 m ist wünschenswert (Grz. § 23 u. 27). Festsetzung ist der Landes-Aufsichtsbehörde vor-

Abb. 1.



für die **freie Bahn** und die sonstigen **Ein- und Ausfahr- gleise der Personenzüge**.

Bei Neubauten gültig:

AB für die freie Strecke mit Ausnahme der Kunstbauten,

CD für die Stationen und die Kunstbauten der freien Strecke.

für die übrigen **Gleise**.

von Unterkante der Rad-Laufkreise des auf dem Rollschemel usw. stehenden Hauptbahnwagens ab einzuhalten (Grz. § 23 u. BO. A. § 11).

Gleisentfernung, von Mitte zu Mitte Gleis gemessen (BO. § 12; TV. § 31* u. 38): Auf freier Bahn zwischen zusammengehörigen Gleisen einer Linie $\geq 3,5$ m (für Neubauten in TV. § 31 4 m empfohlen);

Abb. 2.

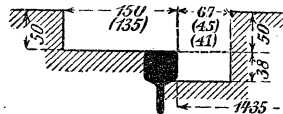
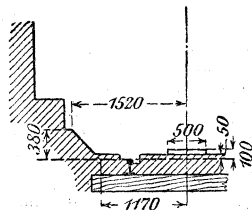


Abb. 3.

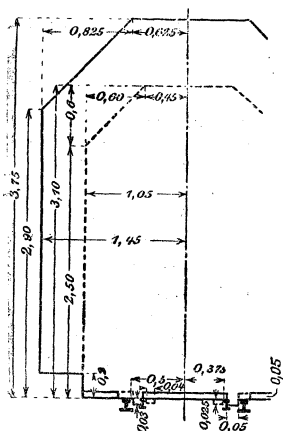


behalten. Für Schmal-spurbahnen, auf denen

Hauptbahnwagen mittels besonderer Fahrzeuge (Rollschemel, Rollböcke usw.) befördert werden sollen, ist das in den Abb. 1 bis 3 gegebene Normalprofil

in allen anderen Fällen, also auch bei Hinzutritt eines dritten Gleises oder zwischen zwei Gleispaares stets dem Normalprofil entsprechend ≥ 4 m. Auf Stationen $\geq 4,5$ m, bei Zwischenbahnsteigen auf Hauptbahnen ≥ 6 m, auf Nebenbahnen $\geq 4,5$ m erforderlich. Beim Umbau von Stationen mit geringem Personenverkehr sind Abweichungen mit Genehmigung der Landes-Aufsichtsbehörde zulässig.

Abb. 4 u. 5.



Gleisabstand auf Stationen vollspuriger Lokalbahnen mit Uebergang von Hauptbahnwagen ≥ 4 m, bei Zwischenbahnsteigen $\geq 4,5$ m. Bei anderen vollspurigen und bei schmalspurigen Lokalbahnen soll auf Stationen die Gleisentfernung mindestens gleich der um 0,60 m vermehrten größten Wagen bzw. Ladungsbreite sein (Giz. § 30).

Kronenbreite s. Unterbau, S. 786.

Bahnsteigbreiten s. Bahnhofsanlagen S. 836

Abstand der Bahn von Gebäuden und feuergefährlichen Gegenständen ist in Preußen durch eine allgemeine Polizeiverordnung bestimmt, deren wichtigste Punkte folgende sind:

a) Neu zu errichtende Gebäude müssen, wenn 1. mit weicher, nicht feuerweicher Deckung versehen (auch Dachpannen mit Strohdocken), von der Mitte des nächsten Gleises einen Abstand innehalten gleich mindestens 25 m vermehrt um die anderthalbfache Höhe des etwaigen Eisenbahndammes. Dasselbe gilt bei allen zur Lagerung von entzündlichen Gegenständen benutzten Gebäuden für die etwaigen der Bahn zugekehrten Wandöffnungen, sofern sie nicht mit mindestens 1 cm starkem, ringsum eingemauertem Glase verschlossen sind. Als der „Bahn zugekehrt“ gelten dabei alle Wände, deren Winkel gegen die Bahnrichtung unter 60° beträgt. — 2. Sonstige nicht in wirksamer Weise (Rohrputz u. a.) gegen Entzündung durch Funken geschützte Gebäude und Gebäudeteile müssen einen Abstand von mindestens 4 m bis zur nächsten Gleismitte innehalten; ebenso Wandöffnungen ohne den angegebenen festen Glasabschluss. Unterhalb der S.O. erhöht sich der Abstand auf 5 m. Gebäudeteile, die mehr als 7 m oberhalb der S.O. liegen, sind diesen Bestimmungen nicht unterworfen. — Bei Lagerung leicht entzündlicher Gegenstände ohne feste Bedeckung erhöht sich der kleinste Abstand zu (1) auf 33 m vermehrt um die anderthalbfache etwaige Dammhöhe.

b) Bei Annäherung einer neu anzulegenden Bahn an schon bestehende Gebäude usw. über die oben angegebenen Grenzen hinaus entscheidet der Regierungspräsident über die zu treffenden Maßnahmen.

Sicherheitsstreifen in Waldungen, Heiden und trockenen Mooren bei Dampfbahnen zur Sicherung gegen Brände. Breite nach der Örtlichkeit zu bestimmen (TV. § 27. — S. auch S. 831).

Krümmungshalbmesser. Mindestmaß auf freier Strecke für Hauptbahnen 180 m, jedoch unter 300 m nur mit Genehmigung der Aufsichtsbehörde und mit Zustimmung des R.E.A., für vollspurige Nebenbahnen 180 m, sofern Fahrzeuge von Hauptbahnen übergehen, andernfalls 100 m (BO. § 7, TV.* § 29). In Preußen auch für Nebenbahnen 250 m Grenzwert (Erl. v. 24. VI. 1897). — Für Anschlussgleise gewerb-

licher Anlagen usw. sind in Preußen (Erl. v. 11. II. 1901) zugelassen: 180 m, wenn beliebige Lokomotiven von Hauptbahnen übergehen sollen; 140 m, wenn nur Nebenbahnlokomotiven mit höchstens 3 m, aber Wagen mit über 4,5 m hinausgehendem festen Radstand (Glaswagen, Koks- wagen usw.), endlich 100 m, wenn bei ebensolchen Lokomotiven nur Wagen von $\geq 4,5$ m festem Radstand übergehen sollen.

Grz. gestattet für vollspurige Lokalbahnen mit Hauptbahnwagen- Uebergang als Kleinstwert auf freier Strecke in der Regel 180 m. bei vollspurigen Anschlußgleisen 100 m, bei 1,00 m Spur 50 m, bei 0,75 m Spur 40 m, bei 0,60 m Spur 25 m. Sind die Betriebsmittel zum Befahren schärferen Krümmungen eingerichtet, so sind kleinere Halbmesser zulässig. (Ueberhöhung s. B. II. Oberbau S. 796.)

Längsneigung auf Hauptbahnen höchstens 25 vT, auf Neben- bahnen höchstens 40 vT. Stärkere Neigungen als 12,5 vT auf Haupt- und 40 vT auf Nebenbahnen bedürfen der Zustimmung der Landes- Aufsichtsbehörde und des R. E. A. (B. O. § 7). Für Preuß. Nebenbahnen gestattet V. f. V. § 4 äußerstenfalls 1:30 = 33 vT, fordert aber Prüfung, ob nicht Anwendung von Zahnstrecken günstiger ist.**) Bei elektrisch betriebenen Haupt- und Nebenbahnen sind nach T. V. § 28 stärkere Nei- gungen zulässig. Grz. § 21 gestattet für Lokalbahnen bis 40 vT.

Neigung von Bahnhofsgleisen bei Haupt- und Nebenbahnen, abge- sehen von Rangiergleisen, $\leq 2,5$ vT; jedoch dürfen Ausweichgleise in die stärkere Neigung der freien Strecke eingreifen. (B. O. § 7 u. T. V. § 36).

Ausrundung der Neigungswechsel auf freier Strecke mit ≥ 5000 m bei Haupt- und 2000 m bei Nebenbahnen, in oder unmittelbar vor Stationen mit ≥ 2000 m Halbmesser (B. O. § 10, T. V. § 28); für Lokalbahnen empfiehlt Grz. § 21 2000 m.

Zwischen Gegenneigungen von mehr als 5 vT, sofern eine der Neigungen über 10 m Gesamthöhe hat, ist eine Strecke von ≥ 500 m Länge mit ≤ 3 vT einzulegen; in diese Länge dürfen die Tangenten der Ausrundungsbogen eingerechnet werden (B. O. § 7 u. T. V. § 28). Nach Grz. § 21 ist zwischen Gegenneigungen von ≥ 10 vT eine wagerechte oder ≤ 3 vT geneigte Zwischenstrecke von ≥ 50 m Länge einzu- schalten.

Schroffe Gefällewechsel in scharfen Bogen sind zu vermeiden. (T. V. § 28; Grz. § 22.)

Abteilungszeichen mit Angaben von ganzen und zehntel Kilometern, sowie **Neigungszeiger** mit Größe und Länge der Neigungen an den Enden der geneigten Strecken; letztere bei Nebenbahnen nur nötig, wenn auf ≥ 500 m Länge $s \geq 6,66$ vT (B. O. § 17; T. V. § 24 u. 25). Bei Lokal- bahnen nach Grz. § 19 u. 20 nur, wenn $s \geq 10$ vT.

Zulässige Fahrgeschwindigkeit auf Hauptbahnen nach B. O. § 66: für Personenzüge ohne durchgehende Bremse 60, mit solcher 100, unter

*) E. V. Bl. 1893 S. 153.

**) Vgl. O. Blum, Reibungsbahnen und Bahnen gemischten Systems. Berlin 1903, auch Z. f. B. 1903.

besonders günstigen Umständen Erhöhung mit Genehmigung der Landes-Aufsichtsbehörde zulässig; für Güterzüge 45 bis 60, für Arbeitszüge 45, für einzelne Lokomotiven im allgemeinen 50 km/st; für bestimmte Lokomotiven auch mehr, s. B. O. § 36². Bei Zügen, deren führende Lokomotive mit dem Tender voranfährt, 45 km/st; bei nicht vorgemeldeten Hilfs- und Sonderzügen 30 km/st; bei geschobenen Zügen 25 km/st. In Krümmungen (r in m) und Gefällen (s in ‰) darf die Geschwindigkeit V in km/st höchstens betragen:

$r = 1300$	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	400	300	250	250	200	180
$s = 3$	3	3	5	5	7,5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	25	25
$V = 120$	115	110	105	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45.

Größte Geschwindigkeit auf **Nebenbahnen** nach B. O. § 66 im allgemeinen 30 km, jedoch auf vollspurigen Bahnen für Personenzüge mit durchgehender Bremse auf eigenem Bahnkörper 40 km und mit Genehmigung der Landes-Aufsichtsbehörde 50 km; bei geschobenen Zügen, wenn alle Wegeübergänge mit Schranken geschlossen sind, 25, sonst nur 15 km/st. Ferner in Krümmungen und Neigungen:

$r = 200$	180	150	150	120	100
$s = 25$	25	30	35	40	40
$V = 50$	45	40	35	30	25.

Bei gleichzeitiger Krümmung und Neigung ist bei Haupt- und Nebenbahnen die kleinere der beiden Geschwindigkeiten maßgebend.

Auf Kleinbahnen (Bv. f. Kl. § 24):

Bei 1,435 u. 1 m Spurweite 30 km/st; bei 0,75 m 25 km/st; bei 0,60 m 20 km/st; größere Geschwindigkeiten mit Genehmigung der Aufsichtsbehörde.

Auf Privatanschlußbahnen (Bv. f. P. § 27):

15 km/st; größere Geschwindigkeit mit Genehmigung der Aufsichtsbehörde.

Größter ruhender Raddruck auf Hauptbahnen 7 t, bei hinreichend starkem Oberbau 8 t (B. O. § 29). Bei Neubau von Gleisen ist stets mit 8 t, auf stark beanspruchten Strecken mit ≥ 9 t ruhendem Raddruck zu rechnen (B. O. § 16). Vgl. auch TV. § 6 u. 64. Für Nebenbahnen bestimmt die Landes-Aufsichtsbehörde im Einvernehmen mit dem R. E. A. über die etwaige Anwendung der gleichen Sätze. Ueber die Lasten bei Brückenberechnung s. 16. Abschnitt: Brückenbau.

Für vollspurige Lokalbahnen mit unbeschränktem Wagenübergang empfiehlt Grz. § 41 u. § 5: 6 t, andernfalls 5 t; für Schmalspur von 1 m, 75 und 60 cm: 4,5 t; 4 t; 3,5 t.

b. Form des Entwurfes.

1. In Preußen sind die Ergebnisse der **allgemeinen Vorarbeiten** in folgender Form dem Min. d. öff. Arb. einzureichen (s. V. f. V.):

a) **Übersichtskarte** mit zinnoberrot eingetragener Bahnlinie, in km geteilt. Hierzu die Generalstabkarte in 1:100 000 oder andere Karten, für kurze Linien auch die Mefstischblätter der Landesaufnahme in 1:25 000 verwendbar. Es ist zweckmäßig, auch das Verkehrsgebiet der neuen Bahn (ein Streifen von etwa 5 km Breite jederseits der Bahnachse) zu kennzeichnen.

b) **Lage- und Höhenpläne.** Maßstab 1:10 000 für die Längen, bei schwierigen Verhältnissen auch größer; Höhenmaßstab 1:500 bis 1:250.

Bei erheblich wechselnden Höhen sind Schichtenlinien erforderlich. Bei Stütz- und Futtermauern an steilen Hängen Angabe der Querschnitte. Flurbezeichnungen nach den Vorschriften der Landesvermessung.

c) **Erläuterungsbericht** über Bahnführung im allgemeinen und im einzelnen, Mitbenutzung öffentlicher Wege, Berührung von Staatsforsten, Bergwerk- und militärischen Anlagen, Leistungsfähigkeit der Bahn, Grunderwerb, Bemerkungen zum Kostenüberschlag.

d) **Kostenüberschlag** nach den Titeln des „Normalbuchungsformulars“, jedoch unter tunlichster Beschränkung der Unterabteilungen und Abrundung der Bahnlänge auf zehntel km usw. — Die Titel sind:*)

- Tit. I. Grunderwerb und Nutzungsentschädigung.
- Tit. II. Erd- und Böschungsarbeiten, Futtermauern usw., einschließlich der der Wegeübergänge.
- Tit. III. Einfriedigungen, ausschließlich der der Stationen.
- Tit. IV. Wegeübergänge, Unter- und Ueberführungen von Wegen und Eisenbahnen.
- Tit. V. Durchlässe und Brücken.
- Tit. VI. Tunnel.
- Tit. VII. Oberbau mit allen Nebensträngen und Ausweichungen.
- Tit. VIII. Signale nebst dazugehörigen Buden und Wärterwohnungen.
- Tit. IX. Bahnhöfe und Haltepunkte nebst allem Zubehör an Gebäuden, ausschließlich Werkstatanlagen.
- Tit. X. Werkstatanlagen.
- Tit. XI. Außerordentliche Anlagen, als Flußverlegungen, Durchführung durch Festungswerke usw.
- Tit. XII. Betriebsmittel.
- Tit. XIII. Verwaltungskosten.
- Tit. XIV. Insgemein.
- Tit. XV. Etwaige Ausfälle beim Betriebe auf Kosten des Baufonds.
- Tit. XVI. Zinsen während der Bauzeit.
- Tit. XVII. Kursverluste.
- Tit. XVIII. Erste Dotierung der Reserve- usw. Fonds.

Bemerkung. Tit. XV bis XVIII fallen bei Staatsverwaltungen weg.

e) **Denkschrift** (zur Vorlage an die gesetzgebenden Körperschaften) über Zweck, Länge und Linienführung der Bahn, wirtschaftliche und Verkehrsverhältnisse, Verhältnisse des Grunderwerbes, Baukosten, Leistung der Beteiligten, Staats- oder sonstige Zuschüsse.

f) **Ertragsberechnung**, Ermittlung der zu erwartenden Einnahmen und Ausgaben an Hand eines aufzustellenden Betriebsplanes.

2. Die Ergebnisse der ausführlichen Vorarbeiten sollen umfassen:

a) Lage- und Höhenplan $\geq 1 : 2500$, besser $1 : 1000$, namentlich bei unregelmäßigem oder stark bebautem Gelände; Höhen $1 : 250$; mit fortlaufender Kilometererteilung und mit Stationen von 100 m..

b) Entwürfe zu den Stütz- und Futtermauern, Wegeübergängen, Brücken, Tunneln und sonstigen außerordentlichen Bauwerken ($1 : 100$).

c) Entwürfe der Bahnhofsanlagen in $1 : 1000$.

d) Einen ausführlichen Erläuterungsbericht.

e) Einen ausführlichen Kostenanschlag, geordnet nach Titeln wie unter 1d, jedoch mit weiterer Einteilung in Positionen und Unterpositionen.

*) Diese Titel-Einteilung, aufgestellt vom V. D. E. V., ist für alle dem R. E. A. unterstellten Bahnen Deutschlands maßgebend; danach aufgestelltes Muster für die Veranschlagung s. u. a. H. d. I. W. Tl. I Bd. 1, Vorarbeiten. — S. auch Finanzordnung der Preufs. Staatsbahnen, April 1901.

IV. Ausführung der technischen Vorarbeiten.

a. Reihenfolge der Arbeiten.

1. Allgemeine Vorarbeiten.

1. **Feststellung der Bedingungen für die Linienführung** Gleiszahl, Spurweite und Normalprofil; maßgebende Steigungs- und Krümmungsverhältnisse; größter Raddruck; Zuggewicht, Geschwindigkeit.

2. **Uebersichtliche Darstellung des Geländes** in Lage und Höhe. Im allgemeinen genügen vorhandene Karten möglichst mit Schichtenlinien (z. B. Mefstischblätter 1:25 000, die auf photographischem Wege noch leicht vergrößert werden können).

3. **Aufstellen des Entwurfes auf dem Papiere.** Aufsuchen der Linie in den Schichtenplänen, Auftragen des Längsprofils und Einzeichnen der Bahnhöhenlinie nebst Darstellung der Krümmungen darunter, Ermittlung und Verteilung der Erdmassen unter Rücksichtnahme auf die Bauwerke und etwa dadurch gebildete sowie natürliche Scheiden für die Erdförderung. Diese Arbeiten zunächst ganz überschlägig für die in Frage kommenden Möglichkeiten. Danach Auswahl einer bestimmten Linie und nun erst eingehendere Wiederholung derselben Arbeit zur genaueren Feststellung der Richtungs- und Höhenlinie. Vorläufige Feststellung der Bauwerke nach Lage usw., soweit für den Kostenüberschlag erforderlich. — Sodann die überschlägige Kostenberechnung usw.

4. **Herstellen der vorschriftsmäßigen Vorlagen** (s. S. 778).

2. Ausführliche Vorarbeiten.

1. **Eingehende Darstellung** des Geländes durch genaue örtliche Aufnahmen (Arbeitspläne) von einem der Bahnlinie sich möglichst anschmiegenden Polygonzuge aus oder mit Hülfe eines Dreiecknetzes. Verzeichnen der Bodenbeschaffenheit nach Schürf- und Bohrlöchern. (Vrgl. unten 6.)

2. **Aufstellung des Bauentwurfes für die Ausführung.** Genaue Feststellung der Linie. Uebertragung auf das Gelände mit Ausstecken der Bogen (nicht früher, weil nutzlos. Dabei Sicherung der Festpunkte, d. s. Bogenanfang, -mitte und -ende und Richtpunkte in etwa 300 m Entfernung in längeren Geraden, durch außerhalb des künftigen Bahnkörpers zu setzende Sicherheitspfähle). Längenteilung der Linie, Aufnahme des Längsschnittes und zahlreicher Querschnitte. Ausarbeitung des Entwurfes in Bahnkörper, Bahnhöfen, Bauwerken, Wegeübergängen, Entwässerung usw. Verzeichnis aller Neuanlagen und Veränderungen an Wegen, Wasserläufen usw. mit Erläuterungen.

3. **Herstellung der vorschriftsmäßigen Vorlagen** (hierzu Abzeichnungen der Arbeitspläne verwenden; die genauen Urzeichnungen bleiben für die weiteren Entwurfsarbeiten bei der bearbeitenden Stelle).

4. **Aufstellung des allgemeinen Bauplanes** (bildlich).

5. **Vorarbeiten zum Grunderwerbe** (beginnen sofort nach Uebertragung der endgültigen Linie auf das Gelände).

*) Ueber das Betreten fremden Eigentums usw. s. E. Gz. § 5.

6. Gleichzeitig mit den anderen Arbeiten: Ermittlung aller Wasser- verhältnisse (Vorflut, Durchflußweiten, Hochwasserstände usw.); der geologischen Verhältnisse für Tunnelanlagen, tiefe Einschnitte, Beschaffung der Baumaterialien für Kunstbauten, der Bahnbettung usf., Bodenuntersuchungen (wegen der Böschungsverhältnisse, Massen- verteilung, Gewinnungspreise, Gründungen), Erkundigung über Preis- verhältnisse, Bezugsquellen usw.

b. Arbeitsarten der Ausführung.

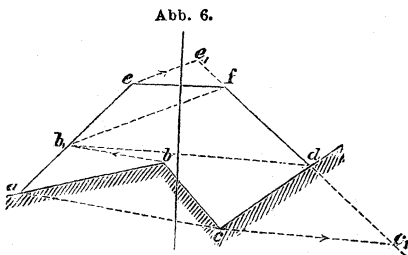
α. Geometrische Vorarbeiten.

S. Absch. Vermessungskunde S. 2 bis 4 und S. 29 bis 49.

β. Entwurfs-Arbeiten.*)

1. Flächen- und Massenermittlung.

1. **Bestimmung der Querschnittsinhalte** bei ausführlichen Vor- arbeiten und auch sonst bei unregelmäßiger Bodenquerlinie aus der Zeichnung durch Rechnung, Planimeter oder Flächenver- wandlung, letztere u. Umst. bis zur Ablesung des In- haltes als Länge (s. Abb. 6 und 7) folgendermaßen:

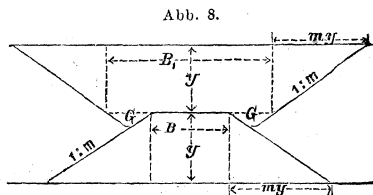
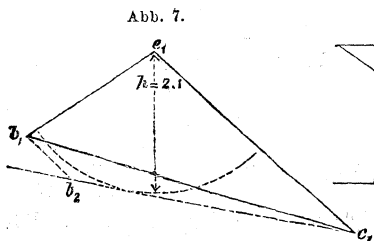


- 1) b nach $b_1 \parallel ca$,
- 2) c nach $c_1 \parallel b_1 d$,
- 3) e nach $e_1 \parallel b_1 f$,

dann ist

$$\Delta b_1 c_1 e_1 = abcdfe.$$

Macht man nun $h = 2 \cdot 1$ und $b_1 b_2 \parallel e_1 c_1$,
dann ist $g = c_1 b_2 = \Delta b_1 c_1 e_1 = \text{Fläche } abcdfe$.



Bei allgemeinen Vorar-
beiten und ziemlich geradliniger
Querneigung des Bodens durch Tafeln oder einfacher durch gezeichnete
Profilsstäbe in folgender Weise:

*) Näheres s. a. Göring, Massenermittlung, Berlin 1907, A. Seydel und H. d. I. W. Tl. I, Bd. 1, Vorarbeiten. Ferner Z. f. B. 1903, S. 425 und Z. d. B. 1900, S. 89; 1902, S. 598; 1904, S. 342, 556 u. 598 und Z. ö. I. u. A. V. 1908, Nr. 31.

Ist die Querlinie ganz oder nahezu wagerecht, so hat der Inhalt die Form (s. Abb. 8)

$F = By + my^2$ für Auftrag, $F = B_1y + 2G + my^2$ für Abtrag, worin G der Querschnittinhalt eines Einschnittgrabens ist.

Diese Formeln können (durch Differenzbildung) in Tafeln oder bequemer durch Zeichnung mittels einer Parabel (vgl. Bd. I, S. 106) und einer geraden Linie in Gestalt eines Profilmassstabes dargestellt werden, mit Höhen gleich denen des Längenschnittes, dessen Längen in irgend einem Massstabe den Flächeninhalt der Querlinien angeben, z. B. 1 mm = 1, 2, 3 oder 4 qm. (Abb. 9.)

Bei geneigter, aber gerader Querlinie (auch bei allgemeinen Vorarbeiten zu berücksichtigen, wenn die Querneigung $n = \tan \beta > 1/9$) ergibt sich der Inhalt (s. Abb. 10) zu $F = F_1 - F_0$ für Auftrag, $F = F_1 - F_0 + 2G$ für Abtrag, worin

$$F_1 = \triangle ADC = \frac{m}{1 - m^2 n^2} h_1^2 = k h_1^2,$$

$$F_0 = \triangle HFC = \begin{cases} \frac{B^2}{4m} & \text{und } h_0 = \frac{B}{2m} \text{ für Auftrag,} \\ \frac{B_1^2}{4m} & \text{und } h_0 = \frac{B_1}{2m} \text{ für Abtrag.} \end{cases}$$

$m = \cot \alpha$, in der Regel = 1,5 (s. S. 788); $h_1 = h + h_0$; $n = \tan \beta$.

Planumbreiten B und B_1 s. Abb. 8. Die Gesamtbreite des Bahnkörpers ohne etwaige Gräben am Auftrage, aber einschl. der Einschnittgräben beim Abtrage ist

$$B_0 = \frac{2m}{1 - m^2 n^2} h_1 = 2k h_1. *)$$

Die Formel $F_1 = k h_1^2$ für ein bestimmtes m und verschiedene n kann durch Tafeln oder Parabeln (s. Abb. 11) dargestellt werden; auch kann man statt der Parabeln gerade Linien benutzen, wenn man die Höhen nach quadratischer Teilung aufträgt. Das Abgreifen auf letzterer wird vermieden durch eine einzige

Abb. 9.
Massstab der Längen: 1 mm = 1 bis 4 qm.

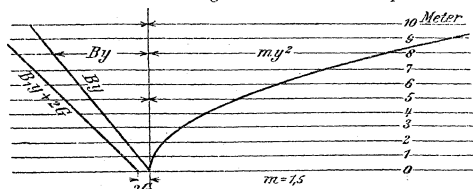


Abb. 10.

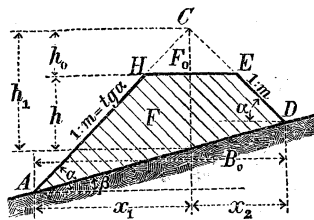
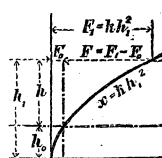


Abb. 11.



*) Diese Formel dient auch zur überschläglichen Ermittlung des Grund-
erwerbes, z. B. durch Auftragen der Breiten B_0 auf den Ordinaten des Längsprofils.

Parabel $y^2 = x$, wobei der Maßstab für y gleich dem Höhenmaßstabe des Längsprofils, u. zw. etwa 5- bis 10-mal größer als der für x zu

Abb. 12.

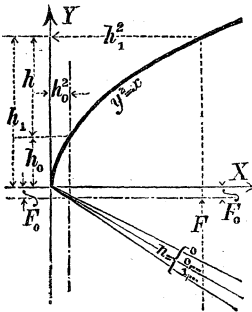
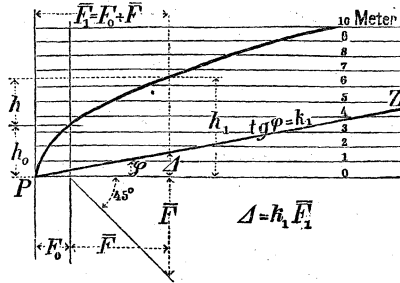


Abb. 13.



nehmen ist (Abb. 12). Der Zusatz von h_0 und der Abzug von F_0 erledigen sich in der Zeichnung. Die Verschiedenheit von F_0 und h_0 für Auf- und Abtrag ist hierbei zu beachten. Die Profilmassstäbe sind zweckmäßig auf fein liniertes Papier zu zeichnen. Sie gelten für jede Planumbreite, man braucht nur die Geraden für h_0 und F_0 danach einzutragen.

Für Profile ohne Querneigung ist $n = 0$ und es wird

$$x = \bar{F}_1 = F_0 + \bar{F} = m h_1^2$$

Vernachlässigung der Querneigung ergibt Minderbetrag um

$$F_1 - \bar{F}_1 = \Delta = \frac{m^2 n^2}{1 - m^2 n^2} \bar{F}_1 = k_1 \bar{F}_1, \text{ wobei } k_1 = \frac{m^2 n^2}{1 - m^2 n^2}.$$

Hieraus folgt ein zweites Verfahren zur Berücksichtigung der Querneigung: man greift für jedes zunächst ohne Querneigung (in einem Profilmassstab nach Abb. 11 für $n = 0$) bestimmte \bar{F} den Zusatz Δ als Ordinate einer von P aus unter $\text{tg } \varphi = k_1$ geneigten Geraden PZ ab (s. Abb. 13). Eine zweite unter 45° nach unten geneigte Gerade ermöglicht ein einfaches Abgreifen des berichtigten $F = \bar{F} + \Delta$. Für das das Verfahren dienen folgende

Werte k_1 für Profile mit Querneigung,

ausgedrückt in Teilen des gleich hohen Profils \bar{F}_1 ohne Querneigung.

ctg β	$n = \text{tg } \beta$	Werte von k_1 für $m =$			ctg β	$n = \text{tg } \beta$	Werte von k_1 für $m =$		
		1,5	1,0	0,7			1,5	1,0	0,7
10,0	0,100	0,0230	0,0101	0,0049	4,75	0,211	0,1108	0,0464	0,0222
9,0	0,111	0,0286	0,0125	0,0061	4,50	0,222	0,1250	0,0519	0,0248
8,0	0,125	0,0364	0,0159	0,0077	4,25	0,235	0,1423	0,0587	0,0279
7,0	0,143	0,0481	0,0208	0,0101	4,00	0,250	0,1636	0,0667	0,0316
6,5	0,154	0,0563	0,0242	0,0117	3,75	0,267	0,1905	0,0766	0,0361
6,0	0,167	0,0667	0,0286	0,0133	3,50	0,286	0,2250	0,0889	0,0417
5,5	0,182	0,0804	0,0342	0,0165	3,25	0,308	0,2707	0,1046	0,0486
5,0	0,200	0,0989	0,0417	0,0200	3,00	0,333	0,3333	0,1250	0,0576

2. **Bestimmung der Raummasse.** Ueblichstes Verfahren durch Summenbildung von Prismen von der Länge l , deren jedes aus der mittleren Profilfläche $\frac{1}{2}(F_1 + F_2)$ berechnet wird (Abb 14):

$$V = \frac{1}{2}(F_1 + F_2) l.$$

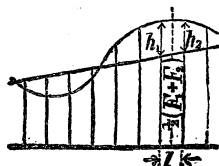
Dieses Verfahren ergibt (unter Voraussetzung ebener Erdoberfläche zwischen den benachbarten Querprofilen) etwas zu viel, nämlich (als absoluten Fehler)

$$\frac{1}{6} m l z^2, \text{ worin } z = h_1 - h_2.$$

Der Fehler wächst also mit dem Quadrate des Höhenunterschiedes der Nachbarprofile. Demnach sind bei raschem Wechsel der Höhen die Profile näherzulegen.

Allzu große Genauigkeit der Rechnung ist wertlos, da das Gelände zwischen den Profilen doch nicht regelmässig ist. — Bequemerer Verfahren durch Bildung des Flächenprofils ohne Rechnung s. u. — Ueberschlägliche Massenermittlung aus dem Längsprofil mit dem Momentenplanimeter (unter Voraussetzung wagerechter Querprofile).

Abb. 14.



2. Massenverteilung.

a) Durch Rechnung.

Eine zweckmäßige Massenverteilung ist nur durch Proberechnungen zu ermitteln, für die vorteilhaft das Muster (S. 785) verwendet wird. (Vgl. auch S. 790 u. f.)

b) Massen-Ermittlung und -Verteilung durch Zeichnung.

Zeichnerische Ermittlung des **Flächen-** und des **Massenprofils** führt schneller zum Ziele und erleichtert die Aufstellung der Massenverteilung unter Berücksichtigung der Förderarten sowie die Kostenberechnung.

Die Inhalte der Querprofile werden als Längen (z. B. 1 mm = 2 qm) auf den (dem Längenprofil entsprechenden) Ordinaten von der Neigungslinie (Gradiente) nach oben und unten (Ab- und Auftrag) aufgezeichnet, die Auftragsordinaten im Verhältnisse der Auflockerung verkleinert. Sodann sind die Flächeninhalte des so entstandenen **Flächenprofils** die Massen. Sie werden ermittelt entweder mit dem Planimeter oder durch Summenbildung, indem man die Flächen in Trapeze von gleicher Breite (z. B. von einer Station, bei ausführlichen Vorarbeiten von 20 bis 25 m) einteilt und deren mittlere Höhen an den Anfangs- oder Endordinaten der Dämme und Einschnitte senkrecht übereinander aufträgt. Hierbei wird in der Regel eine Verkleinerung, z. B. auf die Hälfte oder ein Viertel erforderlich. Die senkrechten Längen, am Maßstabe abgelesen, ergeben die Massen. Die Teilpunkte der letztbezeichneten Senkrechten, auf die zugehörigen Ordinaten wagerecht projiziert, ergeben zugleich das **Massenprofil**, u. zw. ohne jede Rechnung.

Massenverteilung alsdann durch Benutzung des Massenprofils auf zeichnerischem Wege. Benutzt man dabei die gezeichneten Förderpreistafeln anstatt der bei Rechnung, üblichen Zahlenreihen, so können zugleich die verschiedenen Förderarten leicht berücksichtigt werden.

Linke Seite (Massenberechnung).

Pos. Nr.	Station Nr.	Länge	Abtrag				Auftrag				Verwendung			
			Halbes Profil	Mittleres Profil	Masse	Gräben am Damme	Halbes Profil	Mittleres Profil	Masse		Innerhalb der Position	Außerhalb der Position		
									ge- rechnete	redu- zierte		zu viel	zu wenig	
		m	qm	qm	cbm	cbm	qm	qm	cbm	cbm	cbm	cbm	cbm	
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	

Rechte Seite (Massenverteilung und Kostenberechnung).

Pos. Nr.	Ge- winnung — Gegenstand und Ort	Bodenklasse Nr.	Ver- wendung — Gegenstand und Ort	Förderart Nr.	Massengröße		Förderung			Förderpreis f. 1 cbm			Förderkosten				Gewinnungspreis f. 1 cbm	Ge- winnungs- kosten		Gesamt- kosten der Erdarbeiten	
					Längs- Förderung	Quer- Förderung	Entfernung der Schwerp.	Hebung	Neigung vT	Wagrecht	Hebungs- zuschlag	Zusammen	im einzelnen		im ganzen						
													cbm	cbm	m	m					
					20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.		32.			
Z. B.:	Seitenentn. bei Stat.	b.	Rampe bei Stat.	III.	Σ(13.)	Σ(12.)	400	4	10	46	9	55	825	—	20	300	—	1125			

Massenverteilung — Zeichnerische Ermittlung und Verteilung.

γ. Aufstellung des Bauplanes.

Der Bauplan (am besten zeichnerisch) muß veranschaulichen:

1. Zeiteinteilung nach Jahren und Monaten.
2. Bedarf während dieser Zeitabschnitte an Baustoffen, Arbeitskräften, Geräten und Geldmitteln.

B. Streckenbau.

I. Unterbau.

a. Bahnkörper.

1. Planum und Bahnkrone.

1. **Planum** (Oberfläche des Unterbaukörpers und Sohle der Bettung). Rechnungsmäßige (wagerechte) Breite $B = b + 2md$, wenn $b = 2a$ die Kronenbreite und d die mittlere Höhe des Bettungskörpers zwischen Planum und Schienenunterkante (Abb. 15) bedeutet.

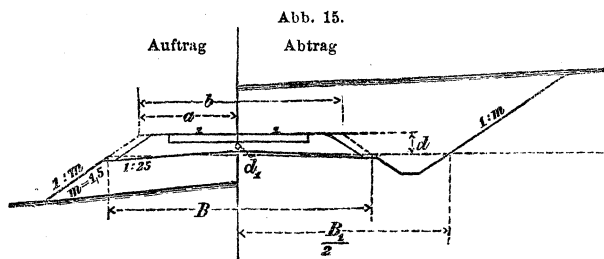


Abb. 15.

2. **Kronenbreite** ist die (gedachte) Breite b in Höhe der Schienenunterkante bis zum Durchschnitte mit den verlängerten anderthalbfachen Böschungen des Erdkörpers. Dafür gelten folgende Vorschriften:

Abstand a der Kronenkante von der nächsten Gleismitte bei Hauptbahnen mindestens 2 m (B. O. § 8; T. V. § 32); bei Nebenbahnen $a \geq 1,75$ m (T. V. § 32); bei vollspurigen Lokalbahnen $a \geq 1,5$ m; bei Schmalspur a mindestens gleich der Spurweite (Grz. § 25). — Auf hohen Dämmen und auf der äußeren Seite scharfer Krümmungen ist a zu vergrößern (T. V. § 32; Grz. § 25).

3. **Bettungshöhe** d_1 unter den Schienenunterlagen bei Hauptbahnen ≥ 200 mm, bei Nebenbahnen $d_1 \geq 150$ mm (T. V. § 3); reichlicheres Maß — 300 und 200 mm — wird empfohlen. Bei vollspurigen Lokalbahnen $d_1 \geq 130$ mm; bei Schmalspur $d_1 \geq 100$ mm; bei Zahnstangenstrecken $d_1 \geq 200$ mm (Grz. § 3).

Demnach mittlere Bettungshöhe d (Abb. 15) unter Bahnkrone bei Hauptbahnen mit 160 mm hohen Holzschwellen etwa 400 (500) mm und mit 75 bis 80 mm hohen eisernen Querschwellen etwa 330 (430) mm.

4. **Bettungsbreite** soll die Querschwellen um etwa je 0,3 m überragen.

5. **Planumbreite B** ergibt sich für eingleisige Hauptbahnen zu $4,0 + 2 \cdot 1,5 \cdot 0,4 = 5,2$ m, neuerdings $4,0 + 2 \cdot 1,5 \cdot 0,5 = 5,5$ m. Für zweigleisige kommt der Gleisabstand (s. S. 775) hinzu, so daß sich hierfür auf der freien Strecke bei 3,5 m Gleisabstand $B = 8,7$ oder 9,0 m ergibt. — Für Nebenbahnen des Preufs. Staates empfehlen die V. f. V. § 5 $B = 4,5$ m.

2. Trockene Lage und Entwässerung des Bahnkörpers.

1. **Hauptregel:** Höhenlage der **Bahnkrone** gegen Grundwasser so, daß dessen höchster Stand nicht vom Eindringen des Frostes erreicht werden kann. Danach die Dammhöhe und die Tiefe der Gräben einzurichten. Bei Wellenschlag und Eisgang jedenfalls Bahnkrone über dessen grösster Höhe. B. O. § 8 und T. V. § 33 verlangen nur, daß die Bahnkrone, ausser bei Bahnstrecken in eingedeichtem Lande, $\geq 0,6$ m über dem höchsten Hochwasser liegen soll. Als Regel für Hauptbahnen gilt jedoch, schon das Planum $\geq 0,6 + H.W.$ zu legen, so daß die Bahnkrone etwa $1\text{ m} + H.W.$ liegt. — Bei Nebenbahnen Bahnkrone in der Regel über dem bekannten höchsten Wasserstande, bei Lokalbahnen nur über öfters wiederkehrendem Hochwasser (T. V. § 33; Gz. f. L. § 26).

Der Bettungskörper soll nicht mit undurchlässiger Erde (Rasen usw.) bedeckt oder eingefaßt sein.

Das Planum erhält eine Abdachung von etwa 1:25 (Abb. 15), im allgemeinen von Bahnmitte nach beiden Planumkanten abfallend. Einseitige, von einer Planumkante zur anderen durchgehende Abdachung, u. Umst. in scharfen Krümmungen entsprechend der Ueberrhöhung (s. S. 796) namentlich bei eingleisigen Bahnen. Bei eingleisigen Bahnen (Hauptb.), bei denen späterer zweigleisiger Ausbau zu erwarten ist, gewöhnlich auch in Geraden einseitige Abdachung.

2. **Grabentiefe im Einschnitte** $\geq 0,4$ bis 0,6 m unter Planum; bei trockener Lage genügt 0,3 m; **Gefälle** im allgemeinen dem Längsgefälle des Planums folgend, mindestens 1:600, besser $\geq 1:300$.

Sohlenbreite der Gräben 0,4 bis 0,6 m; in trockener Lage und bei Nebenb. genügt 0,3 m (V. f. V. § 5). Größere Breite ist nötig bei starkem Wasserzuflusse oder hohen Böschungen mit Gefahr des Abrutschens.

Gräben am Dammfuße sind auf der Talseite entbehrlich, sofern sie nicht zur Fortleitung einer aus dem Einschnitte kommenden Wassermenge erforderlich werden, um Ueberspülung und Beschädigung des Nachbargeländes zu vermeiden. Gefälle $\geq 1:600$.

Böschungen der Gräben in der Regel 1:1,5; bei Pflasterung oder Steinpackung 1:1 bis 1:0,5. Bei Gefälle über 1:100 ist ausser bei felsigem Untergrund besondere Befestigung der Grabenböschungen und der Sohle erforderlich durch Pflasterung usw.

Grabenberme bei Einschnitt in Höhe des Planums (auch wohl der Krone), am Dammfuße in Geländehöhe, von 0,5 bis 1 m Breite, nur bei beweglichen Böschungen und schlammführenden Gräben, um Platz zum Ausschlämmen zu gewinnen. Bei hoher Einschnittböschung an der Bergseite ein „Fanggraben“ zum Auffangen des von dem bergseitig angrenzenden Gelände zufließenden Wassers und Ableiten nach bestimmten Abflusrrinnen. — **Jenseits der Einschnittkante** und des Dammfusses oder

des Grabens folgt ein **Schutzstreifen** von 0,5 m bis 1 m Breite bis zur Eigentumsgrenze (vgl. S. 830).

Bei schlechtem oder nassem Untergrunde zwischen Planum und Bettungunterkante Zwischenlage von Sand oder Kies, u. Umst. im Planum Sickerschlitze.

3. Böschungen.

1. **Böschungsverhältnis** meist 1 : 1,5; im Auftrage nur bei voller Steinschüttung und Steinsatz steiler, bis 1 : 1,25 oder 1 : 1; im Abtrage bei festen Erdarten steiler, bei günstiger Felsschichtung bis 1 : $\frac{1}{6}$.

2. **Befestigung der Böschungen** zum Schutze gegen Angriff des Wassers, Frostes, Windes usw. In der Regel Bekleiden mit Mutterboden oder Rasen. Bei mehr beweglichem Boden Flechtzäune und Pflanzungen dazwischen. Ferner Pflasterungen (erst nach Setzen des Bodens), Steinpackungen (von Hand gepackte und fest ineinander eingebettete nicht bearbeitete Steine mit Böschung 1:1) und -vorwürfe (unregelmäßig eingeworfene Steine) am und im Wasser, u. Umst. auch Betonplatten und die im Wasserbau üblichen Befestigungsarten (s. 9. Abschn.).

In besonderen Fällen

3. **Mauern.** Bekleidungsmauern nur zum Schutze gegen Verwitterung. Futter- und Stützmauern zur Aufnahme des Erddruckes vom gewachsenen und vom aufgeschütteten Boden, wo wegen örtlicher Verhältnisse oder hoher Grunderwerbkosten Herstellung üblicher Böschungen nicht zweckmäßig.

Stets ist das Wasser hinter der Mauer abzuleiten bei Beton- und Mörtelmauern durch Sickerschlitze in der Mauer, in Verbindung damit Kies, Steinbrocken, auch Abflußrohre oder Sickerkanäle hinter der Mauer.

Volle Mörtelmauern namentlich aus Bruchsteinen da, wo natürliche Baumaterialien leicht zu gewinnen (Abb. 16 bis 21). Nachstehende Formeln

Abb. 16.

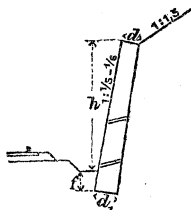


Abb. 17.

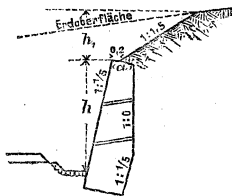
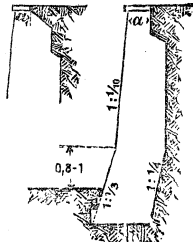


Abb. 18.



zur vorläufigen Annahme der Abmessungen, vorbehaltlich der statischen Untersuchung.

Abb. 16. Bekleidungsmauer aus Bruchsteinen:

$$d = 0,6 \text{ m}; \quad d_1 = 0,1 h, \text{ jedoch } \geq 0,6 \text{ m.}$$

Abb. 17. Stützmauer aus Ziegeln (Profil Haeseler):

$$a \geq 2\frac{1}{2} \text{ Stein}; \quad a_1 \geq 2 \text{ Stein.}$$

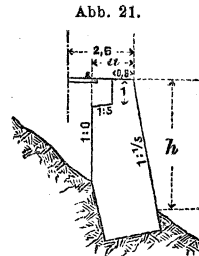
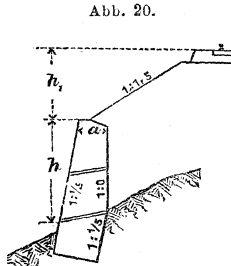
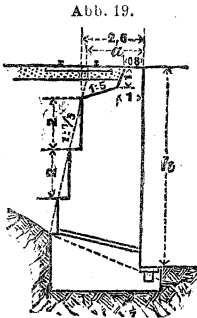
Abb. 18. Futtermauer aus Bruchsteinen:

$$a = 0,05 h_1, \text{ jedoch } \geq 0,6 \text{ m.}$$

Abb. 19. Stützmauer aus Bruchsteinen, wenn Platz zum Anlaufe fehlt
 $a = 0,5 \text{ m} + 0,22 h$, jedoch $\geq 0,8 \text{ m}$.

Abb. 20. Stützmauer aus Bruchsteinen:
 $a = 0,1 h_1$, jedoch $\geq 0,6 \text{ m}$.

Abb. 21. Stützmauer aus Bruchsteinen bis zur Bahnkrone:
 $a = 0,4 \text{ m} + 0,16 h$, jedoch $\geq 0,8 \text{ m}$.

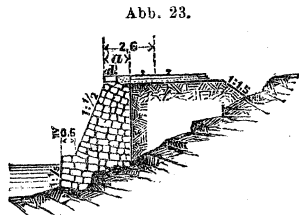
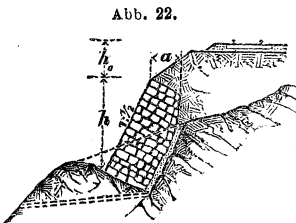


Neuerdings häufig Mauern aus reinem Beton oder Eisenbeton *)

Trockenmauern (nur aus natürlichen Steinen), mit Böschung am Auftrage $1:2/3$ bis $1:1/2$, am Abtrage bis $1:1/5$, sind stets durchlässig herzustellen; nicht in Verband mit Mörtelmauern. Absätze der Hinterfläche wegen ungleichen Setzens zu vermeiden. Der Kopf der Mauer darf nicht unmittelbar von bewegter Last erschüttert werden. Die obere Dammbreite muß (in Rücksicht auf erhebliches Sacken) um $1/50$ bis $1/30$ der mittleren Mauerhöhe vergrößert werden.

Abb. 22. Trockenmauer als Stützmauer. Etwa bis $h = 6 \text{ m}$; dann $a \geq 1$ bis $1,5 \text{ m}$, $h_0 \geq 1,5 \text{ m}$. Anlauf mindestens $1:1/2$.

Abb. 23. Derselben; $a \geq 1 \text{ m}$, $d \geq 0,6 \text{ m}$.



4. Wasserführende Schichten in Einschnitten müssen, wenn sie auf der Einschnittsböschung zutage treten oder in nicht zu großer Tiefe unterhalb der Einschnittssole liegen, durch Sickergräben oder Saugrohre in reichlicher Entfernung vom Einschnitttrande trockengelegt werden, um

*) Vgl. Emperger: Handb. f. Eisenbetonbau, Bd. III.

Rutschungen zu vermeiden. Anlagen dieser Entwässerungsadern nötigenfalls bergmännisch (Stollen von der Seite oder von Schächten aus getrieben, mit Steinen gefüllt). — Ebenso auch bei Dammschüttung, wenn wasserführende Schichten nahe unter der Oberfläche, also Bewegung infolge der Aufschüttung zu befürchten steht.*)

Hauptregel: Allen Bewegungen der Erdmassen ist vorzubeugen durch Entwässerung vor Beginn der Herstellung des Bahnkörpers.

b. Ausführung der Erdarbeiten.

1. Erdgewinnung.**)

1. **Bodenarten und Gewinnungspreise.** Gewinnung beim Streckenbau meist durch Handarbeit. Hierbei Einteilung der Bodenarten nach den zum Lösen benutzten Geräten in nicht zu viele Klassen, weil sonst Unterschiede streitig; beispielsweise gemäß Tafel, S. 791. Bei ausgedehnten Einschnittsarbeiten und Seitenentnahmen mit gleichmäßigem, nicht zu festem Boden im besonderen für Bahnhofsbauten auch Gewinnung durch Maschinen. (S. II. Bd. Abschn. Fördermittel, III. Bd. Abschn. Baumaschinen.)

2. **Auflockerung des Bodens** und demnach gröfsere Zahl der Ladungen auf 1 cbm, namentlich bei festeren Bodenarten (Fels) zu berücksichtigen, etwa nach folgenden Sätzen:

Bodenart	Auflockerung in vH	
	anfangs	bleibend
Sand und Kies	10 bis 15	1 bis 1 1/2
Lehm u. drgl.	20 „ 25	2 „ 4
Keuper, Mergel u. drgl.	25 „ 30	4 „ 5
Fester Ton	30 „ 35	6 „ 7
Felsen	35 „ 40	8 „ 15

3. **Sprengarbeit.** Herstellung der Bohrlöcher von Hand (Schlag- oder Stofsbohrer) oder durch Maschinen (Stofs- oder Drehbohrmaschine). Lochdurchmesser \bar{d} zunehmend mit der Bohrlochtiefe t . Ladungsgröfse etwa proportional t^2 . Uebliche Werte von t und \bar{d} :

$t = 30$ bis 50 cm;	$\bar{d} = 30$ mm für Pulver,	$\bar{d} = 23$ mm für Dynamit.
50 „ 80 „	40 „ „ „	30 „ „ „
80 „ 120 „	55 „ „ „	40 „ „ „

Bei Maschinenbohrung werden die Löcher tiefer als bei Handbohrung, bei Drehbohrung weiter als bei Stofsbohrung hergestellt — Durch Probenschüsse wird das günstigste Verhältnis zwischen Inhalt des gelösten Minentrichters und Aufwand an Bohrarbeit und Ladung ermittelt. —

4. **Gewinnungspreise** auf Grund eines Lohnsatzes von 25 Pf für die Arbeitsstunde gibt die nachstehende Tafel „Erdgewinnung“. Bei höherem Lohnsatz (der von Zeit und Ort abhängt) sind die Preise entsprechend höher anzunehmen.

*) H. d. I. W., Tl. I, Bd. 2, Kap. II.

**) Näheres s. H. d. I. W., Tl. I, Bd. 2, Kap. 1, 2; Esselborn: Tiefbau.

Erdgewinnung.

Klasse	Bodenart	Lösegerät	Arbeits- stunden f. 1 cbm	Kosten in Pfennig f. 1 cbm			
				Für Arbeit ¹⁾	Für Geräte	Für Spreng- mittel	Im ganzen ²⁾
I	Gewöhnlicher Stichboden, trockener Sand, loser Kies usw.	Schaufel und Spaten.	0,5—0,9	15—25	.	.	20—35
II	Schwerer Stichboden, Gartenerde, Klai, sandiger Lehm, leichter Ton usw.	Dsgl. (bes. schles. Schaufel) nebst Holz- oder Eisenkeilen und Schlägel.	1,0—1,5	20—35	2—5	.	25—45
III	Schwerer Lehm und Ton; grober Kies. Mit Steinen durchsetzter Boden. Loses Gerölle.	Breithacke nebst Keil und Schlägel.	1,5—2,3	35—60	5	.	40—70
IV	Trümmergestein; festes Gerölle. Weichere Sandsteine, kleinbrüchiger Schiefer, zerklüfteter Kalkstein.	Spitzhacke und Brechstange. Kreuzhacke, Keilhacke; (u. Umst. auch Minensprengung.)	2,3—4,5	55—110	5—10	.	65—125
V	Felsen in geschlossenen Bänken. Festere Schiefer; Kalk- und Kreide- gesteine, festere Sandsteine; Kon- glomerate u. dgl. (Auch „milder Fels“ genannt.)	Bohrung mit Sprengmitteln und Brecheisen.	4,5—6	100—140	10—15	10—30	125—190
VI	Schwer schiefbares Gestein. Granit, Gneis, Syenit, Quarzfels, Hornstein, Porphyr, Melaphyr, Grünstein. Feste Grauwacke usw.	Dsgl. nebst Keil und Hammer; u. Umst. Bohrmaschinen.	6—10	140—180 (10—15) ³⁾	15—20	30—50	190—260 (bis 300) ³⁾

Bemerkungen.

¹⁾ Laden durch einfachen Wurf in niedrige Fördergefäße (Karren) mit einbegriffen. Für Laden in hohe Gefäße u. Umst. Zulage, ebenso für Gewinnung unter Wasser.

²⁾ Unter Hinzurechnung eines mäßigen Unternehmergewinnes.

³⁾ Zuschlag bei sehr hartem Gestein für Zerkleinerung der abgeschossenen Massen.

Zu I. bis III.: Wasserhaltigkeit des Bodens erhöht die Kosten bei leichten Bodenarten um 15 bis 20 Pf. f. 1 cbm.

Zu IV.: U. Umst. noch eine Klasse als „IV b. Fels ohne Sprengarbeit“ mit 100 bis 125 Pf.

Spalte	Bezeichnungen	I.	II.
		Schubkarren	Handkippkarren
1	a) Ladungszahl für 1 cbm gewachsenen Boden	15 (16)	3 (3,5)
	b) Dsgl. für gewachsenen Fels i. M. . .	17—18	3,5—4
2	a) Zahl der Gefäße und Arbeitskräfte in einem Zuge	15—20 Karren mit ebensoviel Mann.	Jede Karre einzeln mit 2 Mann.
	b) Dsgl. bei Steigungsförderung . . .	Dsgl.	Jede Karre mit 3 Mann
3	a) Förderweite in m	$\begin{cases} 10-300; \\ \text{unter } 25 \text{ m wird} \\ 25 \text{ m gerechnet.} \end{cases}$	80—600
	b) Zweckmäßige Grenzen in der Regel	$\leq 80-100$	≤ 300
4	a) Größtes noch mögliches Steigungs- verhältnis s_{\max}	$1/10$ (— $1/7$)	$1/17$
	b) Größtes Gefälle ohne Verteuerung $s_0 = \frac{1}{n_0}$	$1/12$	$1/17$
5	a) Zweckmäßigste Förderlänge für 1 m Hebung $n_1 = \frac{1}{s_1}$	18	20
	b) Zweckmäßigste Förderlänge für 1 m Fall $n_2 = \frac{1}{s_2}$	25	35
6	a) Längenzuschlag für 1 m Hebung $\frac{A}{h} = a + bs$ (in m)	$a = \begin{cases} 13 \text{ für Hebung} \\ 9, \text{ Fall} \end{cases}$	20
	b) Längenzuschlag für 1 m Fall $\frac{A}{h} = -a + bs$ (in m)	$b = \begin{cases} 325 \text{ für Hebung} \\ 106, \text{ Fall} \end{cases}$	350
		Bemerkung. Negative Zuschläge, d. h.	
7	a) Widerstandszahl = Bremsgefälle w	$1/20-1/15$	$1/25-1/20$
	b) Zweckmäßiges Ladungsgewicht auf wagerechter Bahn Q_0 kg rd.	$\begin{cases} 84 \\ \text{(Schlesische Karre)} \end{cases}$	540
	c) Mittlere Geschwindigkeit der Hin- und Rückfahrt in m/min	50—60	50—75
8	Förderpreise in Pf/cbm (einschl. Kosten für Vorhalten der Geräte) für leichten, trocknen Boden.*)		
	Wagerechte Förderung in Pf $k =$ jedoch nicht unter Pf	$6 + 22t$ 12	$14 + 9,2t$ 16
	a) Steigungszuschlag für h m Hebung auf vorgeschrie- bener Neigung s ; h im Planum gemessen; s in Tausendsteln } Pf $z =$	$3h + 0,07s$	$2h + 0,3s$
9	b) Bei kurzer (Quer-) Förderung, wenn $l < \begin{cases} n_1 h_0 \\ n_0 h_0 \end{cases}$, jedoch Wahl der Neigung		
	1. Hebung des Förderweites $l = n_1 h_0 =$ Schwerpkts. } dazu z für h_0 auf s_1 Oder im ganzen reduz. Förderlänge $l_0 = (a + 2\sqrt{b}) h_0 =$	$18 h_0$	$20 h_0$
	2. Senkung des Schwerpunktes { ohne Zusatz }	$50 h_0$	$60 h_0$
		$12 h_0$	$17 h_0$

*) Für mittlere und schwere Bodenarten steigen die Preise bis 25 vH, für Fels bis 50 vH, bei stark wasserhaltigem Boden um 12 bis 15 vH.

förderung.

III.	IVa.	IVb.	IVc.
Pferdekippkarren	mit Menschen	Wagen auf Rollbahn mit Pferden	mit Lokomotiven
2—2,25 2,5	Wageninhalt bei Schmalspur 0,5—2,5 cbm, in der Regel 1—1,25 cbm. Dsgl. bei Vollspur 2,5—4,5 cbm.		
2—3 K. auf 1 Pf., auch 4—6 K. auf 2 Pf. Bis 1 K. auf 1 Pferd.	1 Wagen mit 1—2 Mann. { 1 Wagen mit 2—3 Mann.	4—6 Wagen zu 1,5 cbm auf 1 Pferd. 3—1 W. auf 1 Pf., od. 1 W. zu $2\frac{1}{4}$ — $1\frac{1}{5}$ cbm auf 1 Pf.	10—36 Wagen auf 1 Tendermaschine. Entsprechend weniger.
300—1500 { Bei großer Masse ist stets IV. zweck- mäßiger. ≥ 500	{ 80—1000 $M \geq 10000$ cbm ≥ 500	300—2000 $M \geq 20000$ cbm ≥ 500	{ Schon von 500 m an, wenn $M > 50000$ cbm und die mittlere Entfernung groß ist.
$\frac{1}{17}$	$\frac{1}{33}$ — $\frac{1}{25}$	bis $\frac{1}{20}$	Abhängig vom Bau der Lokomotiven. **) K_a, K_b, K_c = Kosten von 100 m Rollbahn in Pfennigen, soweit sie für die betreffende Erdarbeit anzurechnen sind.
$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{60}$	$\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{60}$	
25	60—80	60—80	
40	100—120	100—120	
25	80	71	
520	3870	3560	
Abzüge, werden in der Regel nicht berechnet.			
$\frac{1}{55}$ — $\frac{1}{25}$	für IV im Mittel $\frac{1}{120}$, jedoch sehr abhängig von Güte der Bahn.		
700	1500	3100	—
66—75	60—75	70—75	300—400

t = Förderweite in Stationen zu 100 m; M = Fördermasse in cbm.

$26 + \frac{5t}{35}$	$12 + \left(2,5 + \frac{K_a}{25M}\right)t$	$17 + \left(1 + \frac{K_b}{30M}\right)t$	$20 + \left(0,5 + \frac{K_c}{30M}\right)t$
$h + 0,5 s$	$2,5 h + 0,25 s$	$h + 0,6 s$	$0,25 h + 0,75 s$
durch Umwege freisteht, ist zu rechnen (h_0 = Hebung des Schwerpunktes):			
25 h_0	60 h_0 — 80 h_0	60 h_0 — 80 h_0	Abhängig vom Bau der Lokomotiven
70 h_0	200 h_0	200 h_0	
20 h_0	50 h_0 — 60 h_0	50 h_0 — 60 h_0	

2. Erdförderung.

Uebliche Förderarten:

- I. Schubkarren auf hölzernen oder eisernen Karrfahrten (Dielen).
- II. Handkippkarren (2-rädrig) dsgl.
- III. Pferdekippkarren (2-rädrig) dsgl. auf Bohlen mit Spurleisten. (Zu II. und III. Spurweite 1,2 bis 1,4 m.)
- IV. Rollbahn oder Dienstbahn (Spurweite von 0,6 m bis 1 m, selten darüber); weitaus am meisten in Frage kommende Förderart; 4-rädrige Wagen, u. zw.:
 - a) Betrieb mit Menschen.
 - c) mit kleinen Lokomotiven von 20 bis 120 PS.
 - b) „ „ „ Pferden.

Diese Förderarten (I. bis IVc.) liegen der Tafel über Erdförderung auf S. 792 und 793 zugrunde.

Die Förderung mit der Schaufel durch „einfachen Wurf“ (bis 5 m weit oder 1,5 bis 2 m hoch) ist im Gewinnungspreis enthalten; mit „doppeltem Wurf“ (nur für kleine Mengen) besonders zu vergüten.

Unter besonderen Verhältnissen Förderung mit mechanischen Vorrichtungen. S. II. Bd. Abschn. Fördermittel und Drahtseilbahnen.

Erläuterungen zur Tafel S. 792 und 793.

1. Wahl der Förderart. Beginn jeder Erdarbeit zur Herstellung der Förderfahrt mit einfachem Wurf oder mit Schubkarren; daran schließt sich bald die für die ganze übrige Masse beabsichtigte Förderart meist ohne Zwischenstufe. Deshalb ist bei der Massenverteilung für jede Arbeitsstelle eine bestimmte Förderart vorauszusetzen und dieser entsprechend der Förderungspreis anzurechnen. Die Entscheidung darüber gibt Spalte 8 der Tafel, indem bei einer versuchten Verteilungsart die ungefähren Massengrößen und mittleren Förderweiten überschlagen werden. Beide findet man unmittelbar in Gestalt von senk- und wagerechten Längen im Massenprofil (s. S. 784). — Die Hebungen, zunächst nur geschätzt für die etwaigen Schwerpunktwerte, sind bei Längenförderung zu messen zwischen den Schnitten der Schwerlinien mit dem Planum und ergeben sich dann aus dem Längen- oder Flächenprofil. Bei der Querförderung sind die Querprofile zur Ermittlung der Schwerpunkte und deren Höhenunterschiede zu benutzen.

Die Förderung ganz kleiner Massen auf große Entfernungen wird teuer, als die Formeln angeben, und ist durch Ablagerung oder Seitenentnahme zu ersetzen.

2. Berechnung der Förderkosten. Nach Feststellung der Verteilung und Wahl der Förderart für jede Arbeitsgröße ergibt Spalte 8 die Förderpreise für wagerechte Bahn und Spalte 6 die Steigungszuschläge in Längen oder, besser, Spalte 9a die Steigungszuschläge in Pfennig, alles für die Schwerpunktwerte (bei Längentransport auf das Planum projiziert) berechnet. — Spalte 9b ist zu beachten, sobald die gerade Schwerpunkterhöhung kleiner ist als die der Förderart entsprechende zweckmäßige Steigungslänge $n_1 h_0$ (oder $n_0 h_0$), jedoch die Verlängerung der Förderbahn durch Umwege freistellt, was bei Querförderung meistens der Fall ist.

Preistafeln an Stelle der Formeln zu bequemerer Benutzung. Für jede Förderart erhält man die Preistafel entweder durch fortschreitende Ausrechnung nach der betreffenden Formel der Spalte 8 oder durch Auftragen der Formel (z. B. auf Netzpapier) in Gestalt einer geraden Linie. Dazu genügt die Berechnung für zwei Punkte, z. B. $t = 0$ und $t = 2000$ m. Maßstab der Längen gleich dem des Längenprofils, der Ordinaten: 1 mm = 1 Pf. Die Schnittpunkte der Linien zeigen die Entfernungen, bei denen eine Förderart billiger wird als die andere.*)

Allgemeine Preistafeln ohne Berücksichtigung der Förderarten fast überall verschieden. Zu beachten, ob einschl. oder ausschl. Gerätekosten; im letzteren Falle dafür besondere Zulage von 10 bis 15 vH der Förderkosten oder auch der Gewinnungskosten. Die Benutzung solcher allgemeinen Tafeln verursacht erhebliche Abweichungen vom wirklichen Vorgange und deshalb Unzuträglichkeiten bei der Ausführung, namentlich

*) Näheres s. A. Goering, Massenermittlung usw. Vrgl. auch Fußbeim. S. 781.

wenn für größere Steigungen nur ein gleichbleibender Längenzuschlag gerechnet wird. Bei der zeichnerischen Behandlung ist das Verfahren mit Berücksichtigung der Förderarten und Steigungszuschläge nicht schwieriger als ohne solche. — Beispiele allgemeiner Preistafeln s. H. d. I. W., TL I, Bd. 2.

8. Bezüglich der weiteren Maßregeln bei der Ausführung enthalten die Spalten 1 bis 5 und 7 die erforderlichen Angaben. — Neuerdings erfolgt die Vergebung und Abrechnung der Arbeiten oft ohne Berücksichtigung der einzelnen Förderweiten lediglich mit Schätzung einer „mittleren“ Förderweite für jedes Los.

II. Oberbau.

a. Lage des Gleises.

1. Lage der Schienen im Grundrisse.

Spurerweiterung in Krümmungen. Es bezeichne:

l den größten festen Radstand in m,

ϱ den äußeren Halb. der Wagenräder (bis Spurkranzumfang) in m,

t die größte Höhe des Spurkranzes in m,

$l_1 = l + 2\sqrt{2}\varrho t = l + 2b$, wenn $\sqrt{2}\varrho t = b$ gesetzt wird,

R den Halbmesser der Krümmung in m,

ϵ Verschiebbarkeit der Mittelachse bei dreiachsigen Fahrzeugen in m.

Dann ist unter Voraussetzung, daß der Spielraum der geraden Linie (≥ 10 mm bei Hauptbahnen, BO § 31⁵) auch in der Krümmung noch bleiben soll, die mindestens erforderliche Spurerweiterung e in m

bei dreiachsigen Fahrzeugen*)

$$e = \frac{l_1^2}{8R} - \epsilon,$$

bei zweiachsigen Fahrzeugen

$$e = \frac{lb}{R}.$$

Setzt man z. B. $l = 7$; $2\varrho = 1,1$; $t = 0,085$; $\epsilon = 12$ mm, so entsteht die für Hauptbahnen geeignete Formel (R in m; e in mm):

$$e = 6820 : R - 12 \quad \text{oder} \quad \text{rund} \quad 7000 : R - 12.$$

In Preußen**) ist für Haupt- und Nebenbahnen vorgeschrieben bei $R \geq 900$ m:

R bis 800	700	600	500	400	325	250	200	150	100 m
$e = 3$	6	9	12	15	18	21	24	27	30 mm.

Größte Spurerweiterung nach BO § 9: 30 mm bei Haupt-, 35 mm bei Nebenbahnen. Größte Verschiebbarkeit der Mittelachsen 40 mm nach BO § 31⁵.

Bei Schmalspur sind folgende Formeln zu benutzen:

Spur 1 m; für $R = 80$ bis 250 m $e = 240 : \sqrt{R}$, jedoch ≥ 25 mm.

Spur 0,75 m; für $R = 50$ bis 150 m $e = 140 : \sqrt{R}$, jedoch ≥ 20 mm.

Spur 0,60 m; für $R = 30$ bis 100 m $e = 100 : \sqrt{R}$, jedoch ≥ 18 mm.

*) Die 4- und mehrachsigen Fahrzeuge haben 2- oder 3-achsige Drehgestelle von rd. 2,5 m Radstand, die für die Berechnung der Spurerweiterung nicht in Betracht kommen.

**) Vorschr. f. d. Herstellung, Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues, Anl. 1 S. 29, im folgenden „Pr. Vorschr.“ genannt. Vgl. jedoch Kreuter im H. d. I. W., Bd. 5, I, § 23. In Bayern (1903) $e = 3$ mm bei 900 m bis $e = 29$ mm bei 150 m.

Die Erweiterung wird meist durch Hinausrücken der inneren Schiene hergestellt und durch Abrundung auf einige Stufen beschränkt. (Beispiel s. Tafel S. 810.)

Den kleinsten möglichen Halbmesser für einen bestimmten Radstand und umgekehrt findet man, indem man die Formeln auf S. 795 nach R oder l auflöst und e_{\max} einsetzt.

2. Höhenlage der Schienen.

Neigung der Schienen gegen die Lotrechte nach innen: üblich 1:20 bis 1:16. (T.V. § 7.)

Oberflächen der Schienenköpfe in geraden Strecken gleich hoch. (B.O. § 104; T.V.* § 7; Grz. § 6.)

Ueberhöhung des äußeren Schienenstranges in **Krümmungen**. (Vrgl. B.O. § 102; T.V.* § 7; Grz. § 6.)

Bezeichnet:

h die Ueberhöhung des äußeren Schienenstranges in m,

s die Entfernung von Mitte bis Mitte Schiene in m,

R den Krümmungshalbmesser in m,

V die größte Fahrgeschwindigkeit in km/st, so ist empirisch

$$h = cV : R = k : R,$$

wobei man für V den in der Krümmung zulässigen Grenzwert nimmt. In Preußen und bei Hauptbahnen auch in Bayern wird gegenwärtig $c = 0,5$ gesetzt, also $h = V : 2R$ (s. Pr. Vorschr. Anl. 1 S. 29; Bayr. Norm. 1903, Bl. X).

B.O. § 66 gestattet in Krümmungen die Geschwindigkeitsgrenzen der folgenden Zusammenstellung. $h = V : 2R$ sind die berechneten Größtwerte der Ueberhöhung, die bei Festsetzung geringerer Geschwindigkeitsgrenzen (z. B. vor Bahnhöfen usf.) sich entsprechend verringern:

$R =$	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300	250	200	180	150	120	100	m
$V \leq$	120	115	110	105	100	95	90	85	80	75	65	60	50	45	40	30	25	km/st
$h =$	46	48	50	53	56	59	64	71	80	94	108	120	125	125	133	125	125	mm.

Dabei beziehen sich die letzten drei Werte nur auf Nebenbahnen. Bei vollspurigen Nebenbahnen mit $V_{\max} = 30$ wird in Bayern die theoretische Formel $h = sV^2 : 127R$ angewendet. Bayr. Norm. 1903, Bl. Xa.

Zu kleine Ueberhöhungen sind weniger nachteilig als zu große; es empfiehlt sich, für h ein Größtmaß von 125 bis 150 mm bei Hauptbahnen und 160 bis 170 mm bei Nebenbahnen nicht zu überschreiten.

Bei $R > 2000$ m auf Hauptbahnen und > 1000 m auf Nebenbahnen pflegt die Ueberhöhung des äußeren Schienenstranges zu unterbleiben, ebenso nach T.V. § 39 und Grz. § 31 in Weichenkrümmungen.

Für Schmalspurbahnen können die theoretischen Formeln dienen:

$$h = 8,3 V^2 : R, s = 1 \text{ m}; \quad h = 6,2 V^2 : R, s = 0,75 \text{ m}; \\ h = 5 V^2 : R, s = 0,60 \text{ m}.$$

Die Ueberhöhung wird zweckmäßig durch Heben der äußeren Schiene um h hergestellt.

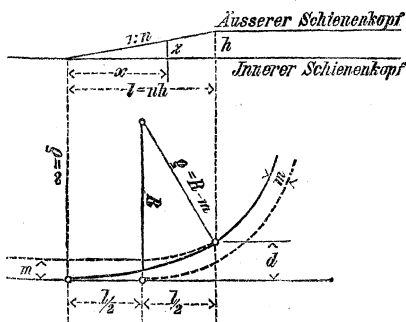
Bei kleineren 2- und mehrgleisigen Strecken hebt man alle äußeren Schienen, wogegen alle inneren die gleiche normale Höhe behalten. Auf mehrgleisigen wichtigeren Wegübergängen empfiehlt es sich, die Innenschiene annähernd auf die Höhe der Außenschiene des Nachbargleises zu bringen. — Das mit beiderseitigem Gefälle nach Abb. 15 hergestellte Planum ist in Krümmungen der Ueberhöhung entsprechend zu verbreitern. Verbreiterung erübrigt sich bei einseitigem Quergefälle, das aber im allgemeinen nur bei eingleisigen Strecken angängig ist.

3. Einleitung der Ueberhöhung und Uebergangsbogen.

Sanfte Ueberleitung erforderlich, weil sonst bei Ausfahrt aus der Krümmung auf der windschiefen Fläche die Entlastung des äußeren (also führenden) Vorderrades Entgleisung herbeiführen kann (s. Abb. 24). Deshalb Auslauf der Ueberhöhung auf das 300-fache ihres Betrages oder mehr erwünscht (BO § 10², T.V. § 7⁵ und Grz. § 6³). Die frühere Vorschrift $l \geq 200h$ genügt erfahrungsgemäß nicht, sie ermöglichte bereits bei 7 m Radstand, abgesehen vom Federspiel, ein Schweben des Rades über der Schiene von 35 mm, d. i. Spurkranzhöhe!*) Ist bei einer solchen Lage die Beweglichkeit der Achsen in den Achshaltern nicht tadellos, tritt dort etwa ein Klemmen ein, so liegt Entgleisungsgefahr unmittelbar nahe. Daher Vorsicht mit den Ueberhöhungsrampen auch bei einstweiligen Anlagen, bei Neu- und Umbauten!

Die Ueberhöhungsrampe ist im Grundrisse in einen ebenso langen Uebergangsbogen zu legen, dessen Halbmesser von $\varrho = \infty$ und $h = 0$, also aus der geraden Linie stetig überleitet bis zu $\varrho = R$ und $h = k:R$, so daß an jedem Punkte Ueberhöhung und Halbmesser einander nach gleichem Gesetze ($z = k:\varrho$) entsprechen und am Beginne des wirklichen Kreisbogens die volle Ueberhöhung erreicht ist. Fehlt es hierzu an gerader Länge, so ist der Rest der Ueberhöhungsrampe in den Kreisbogen zu verlegen, nicht aber die Neigung der Rampe zu erhöhen. Auch eine Verminderung der Ueberhöhung schadet weniger als eine zu steile Rampe der äußeren Schiene. Der Uebergangsbogen bildet eine kubische Parabel mit der Gleichung $y = x^3:6P$ (s. u.). Seine Herstellung verlangt die Einziehung des Kreisbogens (Verminderung des Halbmessers) um ein kleines Maß m s. Abb. 24.

Abb. 24.



*) Daher der viel verbreitete Irrtum, daß es zweckmäßig sei, die Ueberhöhungsrampe auf die doppelte Länge des Uebergangsbogens auszudehnen, statt beides, Rampe und Bogen, in ihrer Länge zu verdoppeln.

Es sei

1 : n das Ansteigungsverhältnis der äußeren Schiene gegen die innere; mithin $l = n h$ die Länge des ganzen Uebergangsbogens und der Ueberhöhungsrampe,

d die Endordinate des Uebergangsbogens in mm; dann ist:

$$P = nk \text{ oder auch } = lR; \quad m = \frac{1}{24} R = d : 4.$$

Die Zwischenordinaten des Uebergangsbogens berechne man aus

$$y = d (x : l)^3.$$

Werte von l kaum über 30 bis 40 m, die Werte von m kaum über 300 bis 350 mm. *)

Zwischen Gegenkrümmungen ist eine Zwischengerade von solcher Länge erforderlich und gleich bei der Linienführung (s. S. 777) innezuhalten, daß sie den Platz bietet für die beiderseitigen halben Ueberhöhungsrampen und eine zwischen deren Endpunkten verbleibende Gerade von ≥ 30 m für Haupt- und ≥ 10 m für Nebenbahnen (BO § 74). Dazu genügt bei Hauptbahnen 600 m eine Zwischengerade von 50 m zwischen den theoretischen Bogenanfängen; zwischen schärferen Bogen steigt diese Länge bis auf 70 m. Bei Nebenbahnen genügen 30 m. Dies sind Mindestmaße, die man tunlich überschreiten soll.

Kurze Zwischengeraden zwischen Krümmungen gleichen Sinnes werden am besten vermieden oder durch einen flachen Bogen ersetzt. Etwas Ueberhöhung durchführen!

Zwischen zwei einander berührenden Kreisbogen verschiedenen Halbmessers R_1 und R_2 ist derjenige Teil des Uebergangsbogens herzustellen, der von $\rho = R_1$ und $h_1 = k : R_1$ überleitet zu $\rho = R_2$ und $h_2 = k : R_2$. Dazu genügt, die Größen $h = h_2 - h_1$; $l = l_2 - l_1$ und $m = m_2 - m_1$ als Unterschiede der einzeln berechneten zu ermitteln und l auch hier symmetrisch zu beiden Seiten des gemeinsamen Berührungspunktes zu verteilen; m wird durch Einziehen des kleineren Halbmessers (R_2) erhalten und von dem Uebergangsbogen auch hier in gleiche Teile zerlegt.

b. Bau des Gleises.**)

1. Die Schienen.

Material. Flußstahl; Zugfestigkeit ≥ 60 kg/qmm (in Deutschland ausnahmsweise auch bis 70, in Frankreich 75 bis 85 kg/qmm). Sorgfältige Ueberwachung der Herstellung, bestimmte Druck-,***) Schlag- und Biegeproben werden vereinbart.

Beanspruchung. Ruhender Raddruck s. S. 778 (BO § 162; T V.* § 6 u. 64; Grz. § 5 u. 41.) Dieser lotrechte Raddruck kann sich durch

*) Näheres über teilweise Verschiebung von Kreisbogen s. Pr. Vorschr. Anl. 3 S. 35.

**) S. A. Blum im H. d. I. W., Bd. 5, Kap. IV.; Leipzig 1906. Ders. im Eisenbahnbau der Gegenwart, Abschn. 2.

***) Nach den Bedingungen der Pr. St.-B. v. 1903 soll eine Kugel von 19 mm Durchmesser unter einem Druck von 50 t sich in die Oberfläche der Schiene um $\geq 3,5$ und $\leq 5,5$ mm tief eindrücken bei sog. verschleißfesten Schienen 3 und 5 mm.

Schwankungen und Fliehkräfte erheblich erhöhen. — Biegemoment bei Querschwellen in 1 m Entfernung unter Voraussetzung gleicher Stützhöhe und ruhender Last (nach Winkler) oft zu $M = 0,189 Pl$ angenommen; jedoch infolge Senkung der Stützen durch Zusammen-drückung von Bettung und Unterlagen, ferner infolge der Bewegung der Last sowie anderer Einflüsse wesentlich größer. *)

Gestalt und Abmessungen. In Deutschland breitfüßige (Vignoles-) Schienen allgemein (Vrgl. Abb. 25 bis 28: preufs. Staatsb.). — Stuhl-

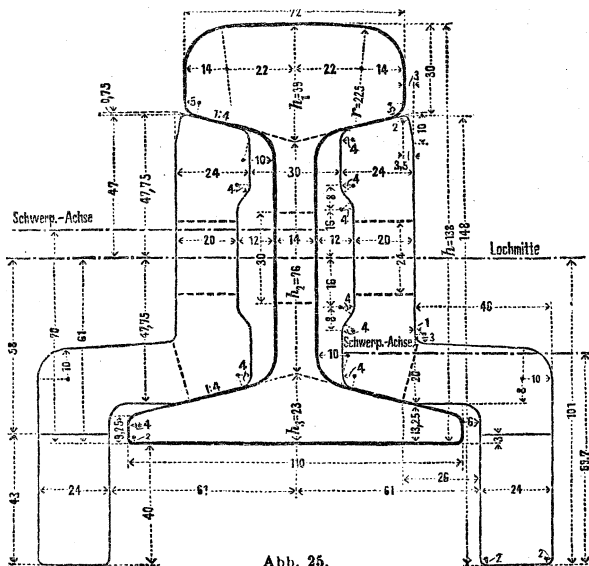


Abb. 25.

schienen (mit Doppelkopf) in Frankreich mehrfach, in England fast ausschliesslich.

Kopfbreite ≥ 57 mm, empfohlen (für Hauptbahnen) bis 70 mm, weil ein breiter Kopf geringere Abnutzung und größere Laschenanlageflächen ermöglicht (T. V. § 5). Preufs. Staatsbahn 58 und 72 mm; sächs. Staatsbahn 58 und 66 mm; Baden 65 mm. Belgien 72 und 80 mm; Elsass-Lothringen (neben den schweren preufs. Profilen): in der Lauffläche (Abrundung voll gerechnet) 52,12 und 28,4 mm unter der Oberkante 68,5 mm. Diese Verbreiterung des Kopfes nach unten (in Nordamerika allgemein üblich) bietet größere Anlageflächen für die Laschen, aber vermehrte Reibung für den Spurranz.

Oberfläche des Kopfes eben oder mit ≥ 200 mm Halbmesser gewölbt (T. V. § 5). Seitliche Abrundungen des Kopfes mit 14 mm Halbmesser (T. V. § 5; Grz. § 4 für vollspurige Bahnen mit Hauptbahnwagen-Uebergang).

Laschenanschlusflächen (Unterscheidung des Kopfes und der Uebergang vom Stege zum Fuße) sollen ebene Flächen und zweckmäßig etwa 1:4 bis 1:2 geneigt sein; zu flache Neigung verursacht bei geringer Abnutzung oder Ungenauigkeit der Laschenhöhe schon Berührung des Steges und starkes Einklemmen der Laschen.

*) Vrgl. H. Zimmermann, Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues, § 27 und 28. Derselbe im Z. d. B. 1891 S. 223. — Engesser, Z. d. B. 1890 S. 312. — Löwe, O. f. F. 1883 § 125.

Preuß. Staatsb. 1:4; österr. Staatsb. 1:2,5; Baden und Gotthardbahn 1:3; Goliath-schiene der belg. Staatsb. 1:5, neuerdings 1:4; Elsass-Lothringen (1891) 1:2.

Stegstärke in der Mitte der Höhe bei Hauptbahnen 11 bis 14 mm (für Tunnel-schienen und Blattstofs mit Halbierung des Steges 18 mm); bei vollspurigen Nebenbahnen ≥ 10 mm.

Fußbreite bei Querschwellenoberbau auf Hauptbahnen 105 bis 130 mm; große Breite (Amerika) namentlich bei Oberbau ohne Unterlagplatten erwünscht, erschwert aber das Walzen. Kleine Breite vermehrt die Gefahr des Kantens und die Beanspruchung der Befestigungsmittel sowie das Einfressen in die Unterlagen, zumal die Fußbreite noch durch Abrundung der unteren Kanten (mit 2 mm Halbmesser) beschränkt wird. Wegen besserer Walzbarkeit bei den Schienen der preuß. Hauptbahnen mit der scharfen Unterschneidung 1:4 (s. Abb. 25 bis 28) nur 105 und 110 mm Fußbreite, dabei aber auf allen Querschwellen Unterlagplatten (s. S. 804 u. f.). Baden 125 mm, Bayern und Sachsen 130 mm.

Ablaufhöhe oder zulässige Abnutzung a des Kopfes wird zu 10 bis 16 mm angenommen.

Schienenhöhe h besteht aus der Kopfhöhe h_1 , der Steghöhe h_2 zwischen den Schnittpunkten der verlängerten Laschenanschlusflächen und der Fußhöhe h_3 (s. Abb. 25). Bei Querschwellen $h = 130$ bis 140 mm.

Abfasung der Kanten der Schnittfläche an den Schienenenden; üblich sind 1 bis 2 mm, unter 45° gegen die Oberfläche.

Tragfähigkeit der Schiene ist so zu bemessen, daß auch nach größter Abnutzung a die Höhe ($h-a$) noch der Belastung genügt. Bei üblichen Verhältnissen (etwa wie bei der preuß. Staatsb.-Schiene Nr. 6, s. Tafel S. 801 und Abb. 25) entspricht für Querschwellenoberbau die Schienenhöhe h etwa der Formel

$$h = 65 \sqrt[3]{Pl} + a,$$

worin P in t, l in m, h und a in mm auszudrücken sind. *)

Bei üblichen Verhältnissen ist angenähert wenn h in cm,

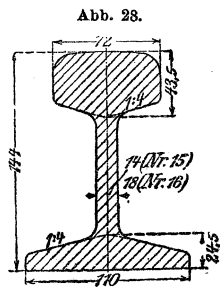
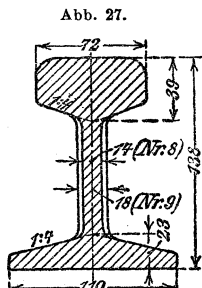
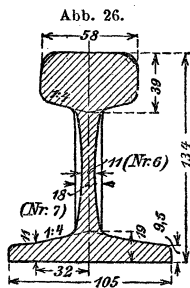
$$\text{Trägheitsmoment } J = 0,032 h^4 \text{ cm}^4;$$

$$\text{Widerstandsmoment } W = 0,064 h^3 \text{ cm}^3,$$

ferner der Querschnitt $F = 0,238 h^2 \text{ qcm}$

und das Gewicht $g = 0,187 h^3 = 0,786 F \text{ kg/m}$.

Schienenlänge, gegenwärtig 12 m, bei schwereren Profilen 15 m, in Tunneln auch bei Stumpfstofs wegen geringeren Wärmeunterschiedes bis



18 m (Preuß. Norm. s. S. 801). (Längere Schienen für eiserne Brücken u. Umst. verwendet.) Wärmeausdehnung s. S. 811, Gewichte S. 801.

*) Vgl. Zimmermann im Z. d. B. 1891 S. 225, weshalb das Moment nicht einfach proportional dem Werte Pl zu rechnen ist.

Daneben kürzere Ausgleich- oder Bogenschienen, zur Bildung der Verkürzung des inneren Stranges in Krümmungen. Diese Verkürzung ist in mm auf eine Länge l in m (R = Krümmungshalbmesser in m, s = Entfernung von Mitte zu Mitte Schiene)

$$\lambda = s \frac{l}{R} = \frac{1500l}{R},$$

Damit bei dem Wechsel von Ausgleich- und Vollschienen in flacheren Bogen nicht zu große Schiefelage der Schwellen (besonders der Eisenschwellen) entsteht, sind z. B. bei 12 bis 18 m Schienenlänge drei Ausgleichlängen mit Verkürzungen um ein-, zwei- und dreimal 40 bzw. 45 mm erforderlich und ausreichend, indem kleine Ungenauigkeiten durch Wechsel der verschiedenen Längen und in den Stosflücken ausgeglichen werden. *)

Beispiel. Die Schienen der preufs. Staatsbahnen (mit Querschwellen) s. Abb. 25 bis 28 und folgende Tafel. *)

Für Neubeschaffungen sind z. Z. für die preufs. Staatsbahnen sechs Schienenprofile vorgesehen, die durch Nr. 6 bis Nr. 9 und 15, 16 bezeichnet werden. Profile Nr. 6 (s. Abb. 25 u. 26) und Nr. 7 (s. Abb. 26) sind für Hauptbahnen gewöhnlicher Art, Nr. 8 und Nr. 9 (s. Abb. 27) für Schnellzuggleise bestimmt. Dazu kommt (1905) in Rücksicht auf weitere Erhöhung der Geschwindigkeit eine Schienenform Nr. 15 (16) für 9 t Raddruck (s. Abb. 28). Anstatt der früheren Schienen für Nebenbahnen, Nr. 10 und 11 wird, sofern altbrauchbare Hauptbahnschienen nicht verfügbar sind, Form 6 verwandt.

Diese Bestimmung ist durch die Schwierigkeiten beim Uebergang der Fahrzeuge der Hauptbahnen auf die nur für 7 und 6 t Raddruck berechneten leichten Oberbauarten veranlaßt. In einem großen einheitlichen Netz müssen möglichst alle Fahrzeuge ungehindert übergehen können.

Die Schienen Nr. 6 und Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 9, endlich auch Nr. 15 und Nr. 16 unterscheiden sich untereinander nur durch die Stegstärke, so daß für je zwei die gleiche Laschenform paßt.

„Das Oberbaubuch der preussischen Staatsbahnen“ (hier durch „preufs. Oberbau“ oder Pr. N. [Preufs. Norm.] bezeichnet) enthält die genaue Darstellung der Oberbauarten für Holzschwellen und Eisenschwellen mit verschiedenen Stosausbildungen und Schienenbefestigungen, ferner den Oberbau mit Holz- und Eisenschwellen auf Wegübergängen und mit Holzschwellen auf Brücken, endlich Uebergangsstosverbindungen zwischen verschiedenen Schienensorten. Das auf S. 801 bis 815 Kleingedruckte enthält Angaben daraus.

Preussische Normalschienen.

Preufs. Schiene	Nach Ab- nutzung um a mm	Stegstärke mm	Fußbreite mm	Kopfbreite mm	h mm	F qcm	g kg/m	Abstand e der Nulllinie von		Für die wäge- rechte Schwerachse		Für die lot- rechte Schwerachse		Normale Länge
								unten mm	oben mm	J cm ⁴	W ccm	J_0 cm ⁴	W_0 ccm	
Nr. 6.	0	11	105	58	134	42,53	33,4	67,3	66,7	1036,6	154,0	150,7	28,7	12
	1	—	—	—	133	41,95	33,0	66,4	66,6	1015,9	152,6	149,1	28,4	
	5	—	—	—	129	39,63	31,1	62,3	66,2	916,9	138,4	142,6	27,2	
	10	—	—	—	124	36,73	28,9	57,7	66,1	796,1	120,3	134,5	25,6	
	13	—	—	—	121	34,09	27,5	54,7	66,3	730,6	110,2	129,6	24,7	
Nr. 7.	0	18	105	58	134	47,44	37,2	66,4	67,6	1063,0	157,2	153,1	29,2	15
Nr. 8.	0	14	110	72	138	52,30	41,0	70,0	68,0	1351,6	193,1	228,1	41,5	
Nr. 9.	0	18	110	72	138	55,32	43,1	69,3	68,7	1362,5	197,0	229,9	41,8	
Nr. 15.	0	14	110	72	144	57,39	45,05	73,0	71,0	1582,9	216,8	259,1	47,1	
Nr. 16.	0	18	110	72	144	60,24	47,28	72,5	71,5	1597,7	220,3	260,5	47,4	

*) Vgl. Rüppell, O. f. F. 1892 S. 61.

Aufsergewöhnliche Längen 10 m, 12 m und 18 m.

Eine Uebersicht über die einzelnen Schienenlängen enthält die Tafel S. 813 (2. Spalte). Ausgleichlängen für Krümmungen, mit Verkürzung um 40, 80 und 120 mm zu den Längen 12 und 15 m, und um 45, 90 und 135 mm zu der Länge von 18 m. Diese Ausgleichschienen sind durch 1, 2 oder 3 kleine Löcher nahe dem Ende gekennzeichnet.

Gestaltung der Unterlagen.

- | | | | |
|------------|------------|---|---|
| I. Einzel- | stützen. | { | 1) Steinunterlagen, nur in Nebengleisen für besondere Zwecke (z. B. in Wagenreinigungsgleisen) (T V. § 12). |
| | | { | 2) Gufseiserne Glockenstühle mit Querverbindungen (sogen. Topfschwellen, in frostfreien Gegenden (England). |
| II. Quer- | schwellen. | { | 1) Holz. |
| | | { | 2) Flußeisen, gewalzt. |

III. Langschwellen, bei untergeordneten und Straßenbahnen.

In Deutschland kommen auf Hauptbahnen nur Querschwellen in Betracht.

2. Oberbau mit Holzquerschwellen.

Holzart. Eichen-, Buchen-, Kiefern-, Lärchenholz; auch Fichtenholz, aber wenig dauerhaft. Gute Tränkung, am besten mit Teeröl, erhöht die Dauer bei Eichenholz um 25 bis 50 vH, bei Nadelholz um 100 bis 150 vH, bei Buchenholz um 400 bis 500 vH, sofern nicht starke Abnutzung durch schweren Betrieb und mangelhafte Befestigung das Holz schon vor dem natürlichen Vergehen zerstört, bei Buchen- und Fichtenholz unentbehrlich (T V. § 12, Grz. § 10. *) (Vgl. I. Bd. Nutzhölzer S. 738).

Abmessungen. Länge auf Hauptbahnen 2,7 m, auf Nebenbahnen 2,5 bis 2,7 m, bei Schmalspur 1,7- bis 1,8-mal Spurweite. (Preufs. Oberbau: Schwellenlänge auf Hauptbahnen 2,7 m, auf Nebenbahnen 2,5 m.) — Höhe in der Regel 160 mm, bei Schmalspur bis zu 120 mm herab. Untere Breite auf Hauptbahnen etwa 260 mm, obere Breite nach Abzug der zulässigen Waldkanten 190, einschränkbar auf 160 mm (oder doch mindestens 120 mm). Stoffschwellen bis 300 mm breit (preufs. Oberbau 260 mm) und möglichst vollkantig. Kappung (entsprechend der Schienenneigung 1:20 bis 1:16) sollte nicht mehr ausgeführt werden, weil sie die Zerstörung des Holzes einleitet. Statt dessen keilförmige Unterlagplatten, s. u.

Befestigung der Schiene auf jeder Schwelle früher durch drei gegeneinander versetzte Nägel jetzt meist Schwellenschrauben. — **Hakennägel** quadratisch, 15 bis 16 mm stark und 150 bis 170 mm lang; Schneide rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes; Kopf mit Ohren oder Nase zum Ausziehen. (Hakennagel bei preufs. Oberbau nur noch bei alten Oberbauarten in Anwendung, s. Abb. 29; Gewicht = 0,29 kg.) — **Schwellenschrauben** sind voll wirksam nur bei richtiger Gestaltung und gegen Verbiegung sicherem, allseitigem Auflager des Kopfes, das bei der Form Abb. 31 fehlt. Volle Wirksamkeit bei der Hakenplatte (s. S. 804

*) Vgl. Blum, im H. d. I. W., Bd. V. Kap. IV; ders. im Eisenbahnbau der Gegenwart, 2. Ferner Schneidt im O. f. F. 1897. Buchenschwellen haben sich in Frankreich allen anderen überlegen gezeigt, verlangen aber sorgfältigste Auswahl des Holzes und Ausführung der Tränkung.

u. 805). Noch besser erscheint völlige Befreiung von der Schienenbefestigung, s. unter „Unterlagplatte“, Oberbau der Oldenb. Staatsb., Abb. 36. Aeußerer Dmr. etwa 20 mm, innerer 15 mm, Länge 6 bis 7 d , Kopf etwa 2 bis 2,5 d ; Ganghöhe $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2} d$. Schrauben ohne Unterlagplatten haben den Nachteil, das Holz in größerem Umfang zu

Abb. 29.

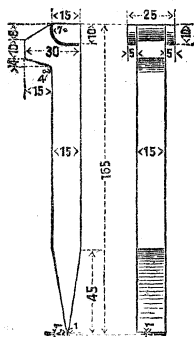


Abb. 30.

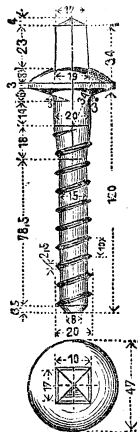
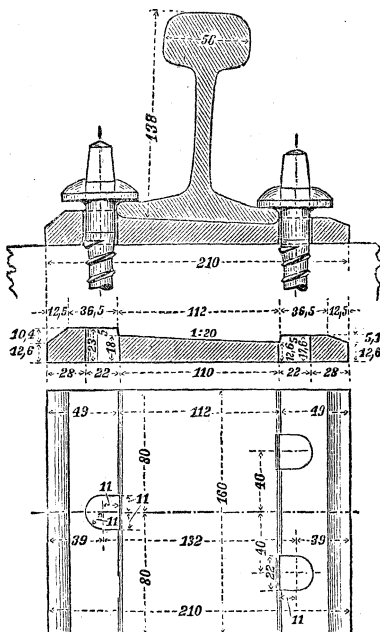


Abb. 31.



Früherer Preuss. Oberbau 8^d H.E.
Platte auf Mittelschwellen von Eichen-
u. Buchenholz. Gewicht 4,52 kg.

zerstören und deshalb bei anfänglich größerer Haltbarkeit später die Erhaltung des Gleises zu erschweren. (Schwellenschraube des preuss. Oberbaues für „offene“ Unterlagplatten s. Abb. 30, Gewicht = 0,39 kg; Gewicht der Schwellenschraube — 150 mm Schaftlänge — für Hakenplatten 0,47 kg.)

Alle Befestigungsmittel müssen (ebenso wie die Verbindungsmittel) stets die Spurrinne von 38 mm Tiefe und 67 mm Breite, vom Kopf und Leitkante der Schiene gemessen, frei lassen (s. S. 775).

Gegen das Kanten und wegen der Kegelform der Radreifen (mit innerem Spurrinne) ist auf Hauptbahnen eine Neigung der Schienen nach innen um $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{16}$

üblich und zweckmäßig (T.V. § 7); auch ist stärkeres Niederhalten (Schrauben) an der Innenseite des Schienenfusses besonders nötig.

Leitschienen neben den inneren Schienen in scharfen Krümmungen (bei der preuss. St.-B. unter 500 m Halbm.) sollen zur Verminderung des seitlichen Verschleißes der äußeren Schienen dienen.

Neuerdings werden vielfach in weichen Holzarten, namentlich nach schon eingetretener Ausweitung der Schraubenlöcher, jedoch auch bei Neubau, Hartholzdübel von etwa 50 mm äußerem Durchmesser mit Schraubengewinden von 15 mm Ganghöhe eingeschraubt, um in sich dann die eisernen Schwellenschrauben aufzunehmen. (Dübelwerke Charlottenburg, s. Glasers Annalen 1903, Org. f. F. d. E. 1905 S. 9, Taf. 8.)

Unterlagplatten („offene“, s. Abb. 31) aus Flußeisen auf jeder Schwelle erhöhen die Lebensdauer der Schwellen und die feste Lage des Oberbaues erheblich, (vgl. T.V. § 12, Grz § 10). Länge der Platten

Abb. 32.

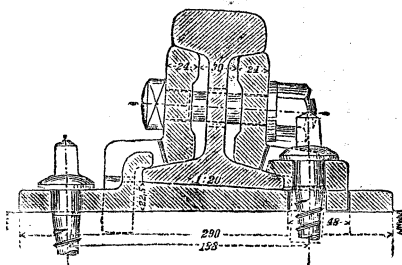
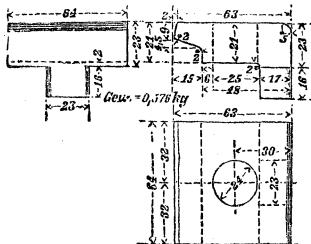


Abb. 33.

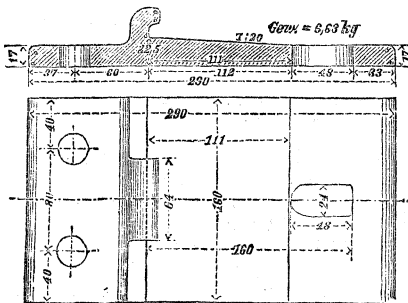


Klemmplatte zu Abb. 34.

in Schwellenrichtung für Hauptbahnen 180 bis 300 mm; Breite 120 bis 160 mm; kleinste Stärke (unter der Innenkante des Schienenfusses) 12 bis 18 mm. Zweckmäßig an der Innenseite zwei, außen ein Loch. Ansatz außen notwendig, innen allenfalls entbehrlich, sofern daselbst

nicht Schrauben beabsichtigt sind. Ferner Hakenplatten (s. Abb. 32, 34, 35, 36 u. 38) s. u. Wesentlicher Vorteil der Platten neben der besseren Druckverteilung und Vermeidung des Kappens der, das durch Anliegen des Schienenfusses an dem äußeren Ansätze oder Haken die inneren Nägel oder Schrauben gegen Verschieben mitwirken und das der Hebelarm gegen Kanten vergrößert wird.

Abb. 34.

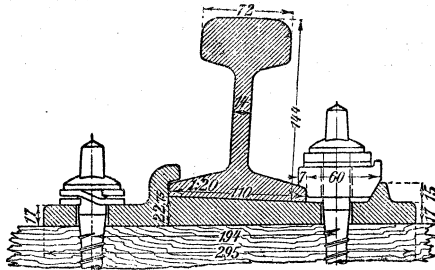


Platten mit zwei Ansätzen verlangen 1 bis 2 mm Spielraum für den Schienenfuß; Innenkante der Löcher bündig mit den Ansätzen, nicht darüber vorstehend, damit die Schiene von vornherein fest an dem Ansatz anliegt. Zweckmäßig: Alle Platten mit drei Löchern. Nur noch da, wo die Schienenneigung unterbleibt (wie in Weichen und auf Lokalbahnen), kommen Platten ohne Keilform zur Verwendung. Platte der sächs. Staatsbahn

von 1888, mit Haken an der Innenseite, 310 mm breit, zweckmäßig.) Kleine Rippen unter der Platte gegen Verschiebung (Sachsen) sind nur bei welchem Holz (Kiefern) zweckmäßig, da sie sich andernfalls nicht genug in das Holz eindrücken.

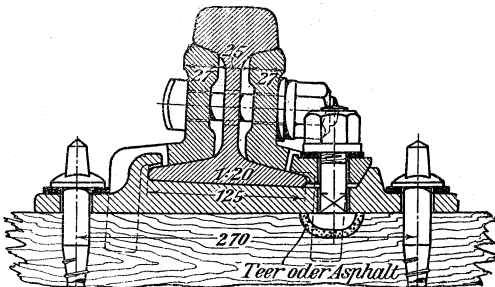
Haken-Unterlagplatte für preuß. Schienen Nr. 6, 7, 8 u. 9, für alle Holzschwellen siehe Abb. 34. Die Hakenlänge (64 mm) paßt in die Ausklinkungen der Laschen sämtlicher preuß. Oberbauarten; hierdurch ist die Uebereinstimmung der Laschen für Holz- und Eisenschwellen ermöglicht (Näheres s. S. 813). Die beiden äußeren Befestigungsschrauben sind dem unmittelbaren Angriff des Schienenfußes entzogen. Die innere Schraube hat (bei rechtwinkliger Unterschneidung ihres Kopfes) durch die Klemmplatte ein gegen Verbiegen sicheres Auflager erhalten.

Abb. 35.



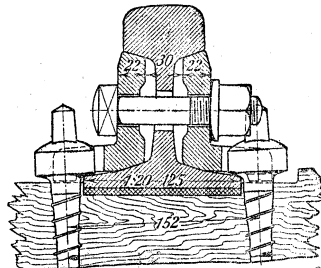
Besser als nach Abb. 32 erscheint Schienenbefestigung nach Abb. 35, die für preuß. Form 15 eingeführt ist. Klemmplatte stützt sich auf schräger Fläche gegen Unterlagplatte, drückt deshalb den Schienenfuß in den Haken und ergibt hierdurch eine wesentlich bessere Sicherung gegen

Abb. 36.



Wandern, als Befestigung nach Abb. 32, bei der der Schienenfuß nur lose im Haken sitzt und nur einseitig von der kleinen Klemmplatte auf die Unterlage gedrückt wird. Dies genügt nicht. Es sind hier deshalb stets besondere Mittel gegen das Wandern erforderlich, bei der verbesserten Anordnung der Form 15 jedoch nicht (vgl. auch Abb. 36, 43 u. 44). Neuerdings geht Bestreben dahin, Befestigung der Schienen von der Unterlagplatte zu trennen, damit Schwellenschrauben ganz dem Angriff der Schiene entzogen sind und durch

Abb. 37.



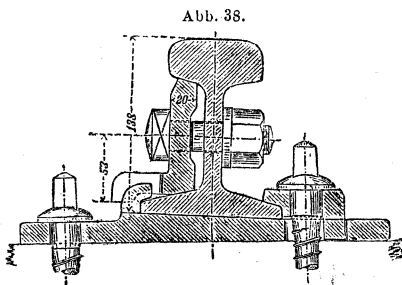
*) S. Röll, Enzyklopädie d. Eisenbahnw., S. 2506 u. Taf. 47.

völlig gemeinsame Wirkung die Schwelle möglichst wenig angreifen. Beispiel Abb. 36, Oldenb. Staatsb. 1908.

Bei Schienen mit breitem Fuß und Hartholzschwellen sind bei geeigneter Behandlung Unterlagplatten entbehrlich. So bei der französ. Ostbahn und nach deren Muster seit 1906 fünf Probestrecken bei preußs. Staatsbahn nach Abb. 37. Unter dem 125 mm breiten Fuß Zwischenlage von geteertem Pappelholz. Nach dreijährigem Betrieb ist auf den Probestrecken noch kein Wandern zu bemerken. Ursache wohl die feste

Verschraubung der Schiene auf jeder Schwelle und die große Reibung zwischen Eisen und Holz.

Verhinderung des Wanderns der Schienen (Längsverschiebung der Schienen auf den Schwellen. T.V. § 13; Grz. § 8). Bei schwebendem Stosse dienen hierzu möglichst eng liegende Stofsschwellen und Winkel- oder Krempflaschen, deren untere Ansätze mit Ausklinkungen die Befestigungsmittel beiderseits des Stosses (namentlich die Haken der



Querschnitt der Stemmflasche.
Preußs. Oberbau 1900.

Stofssplatten) umfassen, somit zwei Schwellen zum Widerstande nach beiden Richtungen heranziehen.

Zur Verstärkung dieses Widerstandes werden ferner noch besondere „Stemmflaschen“ je nach Bedarf an einer oder zwei Stellen jeder Schienenlänge, jedoch nur an der Außenseite angebracht. Sie umfassen die äußeren Befestigungsmittel der beiden benachbarten Schwellen, deren Abstand bei der Schwellenteilung vorgesehen sein muß. Preußs. Norm: Stemmflasche 760 mm lang mit zwei Bolzen in 440 mm Abstand bei 600 mm Entfernung der Schwellenmitten. Querschnitt s. Abb. 38. Haarmann verwendet statt dessen (auf Eisenschwellen) Stemmstühle, d. h. Unterlagplatten (aus Stahlformguss), deren Haken nach oben verlängert ist und sich an die Außenseite des Schienensteiges anlegt und mit ihm verschraubt wird. Neuerdings (T.V. § 10³; Grz. § 8⁴) sucht man die Stofsschwellen ganz von dem Längsschub zu entlasten und die Schienen nahe der Mitte auf den Schwellen festzuhalten, so daß sie sich nach den Enden zu frei ausdehnen können. Hierzu dienen die Gleisklemmen, wobei ein am Schienenfuß durch Keilwirkung oder auch Schrauben befestigtes Stemmstück in der Wanderrichtung gegen die Schwelle drückt *)

3. Oberbau mit flufseisernen Querschwellen.

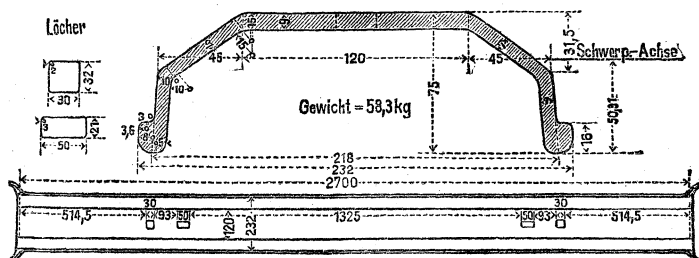
Erfordernisse für die Gestalt: Kräftiges Widerstandsmoment reichliches Auflager. Deshalb Teilung der Auflagerfläche und enge Räume

*) O. f. F. 1906 S. 194.

zu vermeiden. Ferner Fassung eines reichlichen Bettungskörpers und Querschluſs an den Enden, damit Reibung von Bettung auf Bettung der Drehung und Verschiebung in jeder Richtung kräftig entgegenwirkt.

Sehr verbreitet ist gegenwärtig der vollkoffrige Querschnitt nach Abb. 39, meist mit wulstförmigem (Preußen) oder auch nahezu dreieckig nach unten zugespitztem (Baden, Bayern) Verstärkungsaum, der kein Auflager bilden, sondern gegen Schläge der Stopfhacke schützen soll. Abb. 39 ist preuß. Form Nr. 51 für Hauptbahnen mit Eischwellen. Die bayerische Form von 1899 hat 248 mm untere, 130 mm obere Breite, 90 mm Höhe, 2,7 m Länge und 2,75 kg Gewicht.

Abb. 39.

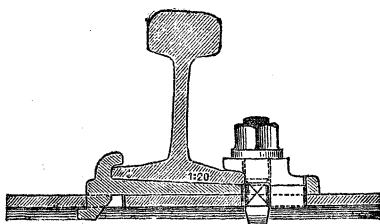


Preuß. Norm Nr. 51.

Abmessungen. Stärke der Decke 9 bis 13 mm (namentlich stark wenn ohne Unterlagplatten). Länge der Schwelle nicht unter 2,5 m, zweckmäßig 2,7 m; *) Gewicht bei Hauptbahnen 58 bis 75 kg (TV. § 12, mindestens 60 kg). Die jährlichen Mehrkosten größeren Schwellengewichts (z. B. von 75 kg) werden übertroffen durch die Ersparnis an Unterhaltung und Erneuerung. Bei reichlicher Länge und Steifheit: gleichmäßiges Unterstopfen der ganzen Schwelle.

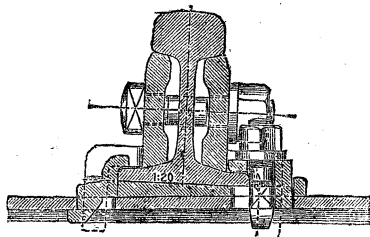
Beispiel: Preuß. Oberbau: Querschwellen für Schienen Nr. 6 bis 9 (Form 51) nebst Lochung für 105 mm Fußbreite s. Abb. 39; Querschnitte über einer Mittelschwelle und

Abb. 40.



Querschnitt über einer Mittelschwelle.

Abb. 41.



Querschnitt über einer Stoßschwelle.

über einer Stoßschwelle s. Abb. 40 u. 41. Für Schienen Nr. 8 und 9 mit 110 mm Breite ergibt die Lochung (51 e) im Grundrisse die Maße: $504,5 + 32 + 102 + 58 + 1307 + 58 + 102 + 32 + 504,5 = 2700$ mm; Löcher 32.32 und 58.25 mm. Gewicht = 58,3 kg.

*) Vgl. Zimmermann, Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues, S. 197. Berlin 1888, Wilh. Ernst u. Sohn.

Für Schienen 15 und 16 der gleiche Querschnitt mit geringer Aenderung der Lochung bei den Mittelschwellen; breiterer Querschnitt (Gewicht = 75,8 kg) bei den Stosschwellen (s. S. 812).

Seit 1907 in Preußen auch Schwellen mit oberen Rippen (Abb. 42), bieten den Vorteil, daß die Unterlagplatten durch die Rippen in ihrer Lage gesichert werden, dem-

Abb. 42.

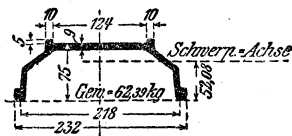
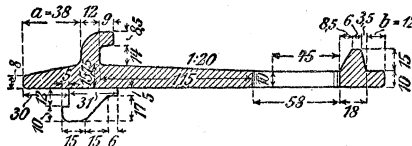
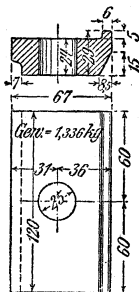


Abb. 43.



nach ein Eingriff in die Schwelle, und zwar mit rundem Zapfen (an der Außenseite) genügt. Die dabei verwendeten Hakenzapfenplatten und Klemmplatten zeigen die Abb. 43 u. 44. Zur Herstellung von Spurerweiterungen in Krümmungen nur Ansätze a und b der Zapfenplatte je in 4 Stufen veränderlich; für gerades Gleis $a = 38$, $b = 12$ mm.

Abb. 44.



Gewichte der (l. allg. breiteren) Schwellen bei den Reichsbahnen 75, Bayern und Baden 70, österr. Staatsb. 71,5 kg.

Herstellung der Schienenneigung. *) Keilförmige Unterlagplatten auf geraden Schwellen (TV. § 12); dadurch zugleich Schutz der Schwelle, also wesentliche Verbesserung der Gleislage und Erhöhung der Schwellendauer dergestalt, daß die jährlichen Mehrkosten durch die Ersparnis an Unterhaltung und Erneuerung überwogen werden.

Lochung der Schwellen. Für die Befestigungsmittel vier rechtwinklige, längliche Löcher, meist sämtlich in Schwellenmitte. In Geraden und in Krümmungen soll die Lochung dieselbe sein. Bei der Lochung sind scharfe Kanten zu vermeiden (Bildung feiner Risse).

Preuß. Oberbau: Nur für Krümmungen unter 250 m Halbmesser (51° bzw. $51P$ für Schienen 6, 7, 8 u. 9) ist eine besonders gelochte Schwelle vorgesehen. In gerader Bahn und in Krümmungen bis 250 m gilt für die gleichen Schienenfußbreiten die gleiche Lochung. — Besondere Lochung weisen auch die Schwellen mit dicken Hakenplatten für Wegübergänge (51^c , m , q , r) auf (s. S. 810).

Befestigung der Schienen. Erfordernisse: Genaue dauernde Festspannung des Schienenfußes in lotrechtem und wagerechtem Sinne. Sichere Herstellung und Innehaltung der Spurerweiterungen in Krümmungen ohne Aenderung der Schwellenlochung und mit tunlichst wenig veränderlichen Teilen. Einbringen der Befestigungsmittel (auch beim Auswechseln) von oben ohne Bewegung der Schwelle und Bettung. Sichere Uebertragung der Seitendrücke vom Schienenfuß auf die Schwelle durch rechteckige Befestigungsteile ohne Berührung zwischen Schienenfuß und Bolzen, um deren Beanspruchung auf Biegung und Ausschleifen zu verhüten.

Keilbefestigung: Zwar einfach für Bau und Erhaltung, veranlaßt aber ungünstige (dauernde) Beanspruchung der Schwellen und der Be-

*) S. O. f. F. 1885 S. 11; 1887 S. 106.

festigungsteile, raschen Verschleifs der Lochung bei geringer Sicherheit gegen Lösen des Keiles.

Haarmanns Befestigung: Keilförmige Unterlagplatte (aus Flußeisen) mit einem Haken und Zapfen-Eingriff in die Schwelle an der Außenseite, nur eine Klemmplatte mit Bolzen an der Innenseite (vgl.

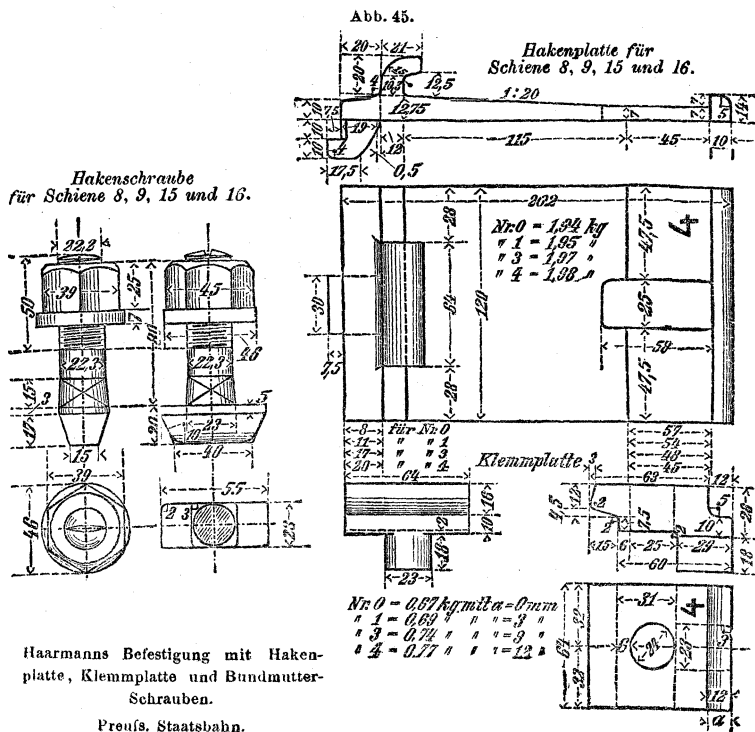


Abb. 45); erfordert weniger Stücke auf jeder Schwelle, dagegen bei Spurerweiterung die Aenderung der Hakenplatte und der Klemmplatte deshalb mehr veränderliche Formen*) bietet aber den Vorteil, daß das Gleis an der Außenseite bis zur Schienenhöhe verfüllt werden kann.

Verhinderung des Wanderns wie bei Holzquerschwellen (s. S. 806).

*) Neuere Form (1900) der Haarmannschen Unterlagplatte mit beiderseitigem Eingriff in die Schwelle beschränkt zugleich die Veränderlichkeit auf diese, indem deren zur Einspannung des Schienenfußes dienende innere Rippe in ihrer Breite wechselt, daher die Klemmplatte gleich bleibt. Bei dem Starkstoffs-Oberbau sichert H. die Platte gegen Verdrehung durch zwei obere Rippen der Schwelle (s. Abb. 42).

in mm für 1 m Schienenlänge bei t Grad Schienenwärme in gerader Linie (bei ungehärtetem Flußstahl)

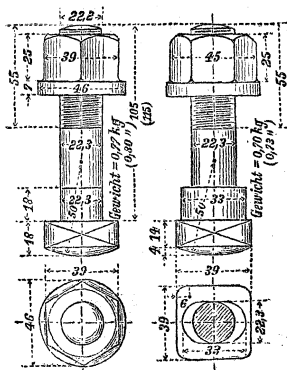
$$\delta = 1000 \alpha (t_1 - t) = \frac{t_1 - t}{92,7} = 0,0108 (t_1 - t).$$

α = Wärmeausdehnungszahl des Schienenstahls, t_1 (in Grad C) = höchste durch Sonnenstrahlen erzeugte Wärme der Schienen (in mittleren Breitengraden etwa 50° bis 60° , stärkste Abkühlung durch Ausstrahlung $t_0 = -25^\circ$). Sind die Schienen bis zum Kopf in Kies eingebettet oder von Pflaster umgeben, so ist $t_1 - t_0$ erheblich geringer. In Tunneln ist gewöhnlich $t_1 - t_0 \leq 30^\circ$. Zu dieser Wärmelücke kommt in Bogen in der Regel noch der durch die Ausgleichschienen nicht ganz zu deckende Rest des Längenunterschiedes beider Schienen hinzu.*) Beides zusammen bildet die „Stoßlücke“.

Verbindung der Schienen durch kräftige **Stahllaschen** (TV. § 10; Grz. § 8) mit mindestens 4, z. Z. meist 6 Schraubenbolzen. Die Laschen dürfen die Schiene nur in den Anschlußflächen nicht am Stege berühren.

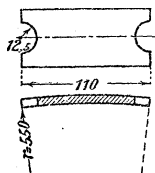
Uebliche Form auf den preuß. Hauptbahnen: Krepplaschen, auch „Z-Laschen“ genannt (s. S. 799 u. 812). Bei Langschwellen mit breiter Oberfläche und ebenso bei unmittelbar unterstützten (festen) Stößen, ferner als Stemmlaschen (Abb. 38, S. 806) werden Winkellaschen benutzt, deren Querschnitt dem der Krepplaschen gleich ist, sobald man diese einige mm über Schienenunterkante wagerecht abschneidet.

Abb. 47.



Laschenschraube (Preuß. Oberbau).
Bundmutter.

Abb. 48.



Laschenlänge und Schwellenteilung s. die Tafel S. 813.

Laschenschrauben.

Bolzenstärke $d_0 = 20$ bis 26 mm. Lochweite der Laschen $d' = d_0 + 2$ mm. S. Abb. 47.

Preuß. Oberbau: $d_0 = 22,3$ mm (s. Abb. 47), $d' = 24$ mm; Lochung der Aufsenlasche länglich (Lochlänge = 35 mm), zur Aufnahme der Schaftverstärkung (33 mm) gegen das Drehen der Schraube, wozu auch noch für alle Fälle ein vierkantiger Kopf mit der Schlüsselweite der Mutter vorgesehen ist. Diese in der Regel mit Bund, deshalb „Bundmutter“, die aber der Erhaltung, ohne spannende Zwischenlage fest zu haften, wenig entsprechen haben. Als spannende Zwischenlage einfache oder doppelte Federringe und neuerdings Bochner Spanplatten (s. Abb. 48.) Die zwischen zwei Schrauben sitzende flach gekrümmte Platte wird beim Anziehen der Muttern gestreckt, hält die Schrauben in Spannung und

scheint sie sehr gut gegen Losrütteln zu sichern. Andere Spanplatten für Einzelschrauben usw. weniger zuverlässig.

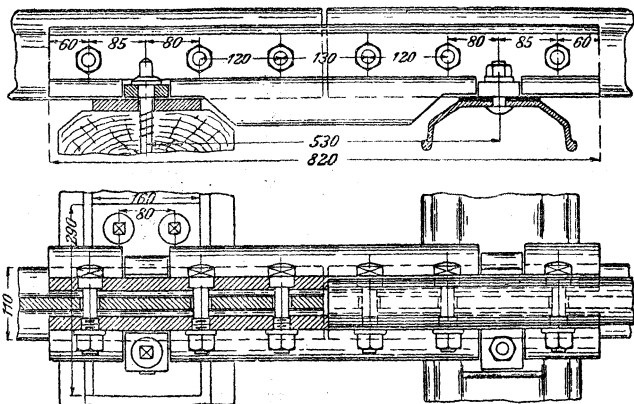
Schienenlochung zur Aufnahme der Laschenschrauben entweder länglich, mit einer Lochlänge $d'' = d' + 0,5 l$ in mm (wenn l die Schienenlänge in m) oder (bequemer) rund mit d'' mm Durchmesser, so daß die Schiene der Wärmeausdehnung folgen kann.

*) Vgl. Ruppell im O. f. F. 1892 S. 61.

Preufs. Oberbau: Löcher rund mit $d'' = 30$ mm bei $l = 12$ m, $d'' = 33$ mm bei $l = 15$ und 18 m Schienenlänge. Höhe der Lochmitten über der Fußebene der Schiene und Stellung der Löcher s. Abb. 25 u. 49.

Unterstützung des Stosses bei Querschwellen bisher allgemein schwebend. Neuerdings (T. V. § 11; Grz. § 9) nach guten Erfahrungen auch der feste Stofs wieder zugelassen. *) Lichte Zwischenweite der

Abb. 49.



Preufs. Oberbau seit 1900, Stofs für Schienen 8 und 9.

beiden Stofsschwellen 200 bis 300 mm, ihr Abstand von Mitte zu Mitte meist 500 bis 600 mm (in Bayern 420 mm). In größerem Umfange ist ausgeführt der Blattstofs, entweder (Preufs. St.-B.) mit stärkerem

Abb. 50.

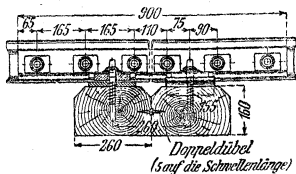
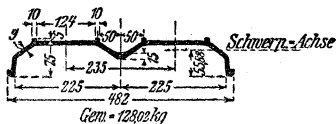


Abb. 51.



Schienensteg (18 mm), der im Blatt zur Hälfte abgefräst wird, oder mit Wechselstegschienen (Osnabrücker Stahlwerk) mit unsymmetrischem Kopf. Seit 1907 in Preußen beim Oberbau 8 und 15 für hölzerne und eiserne Schwellen auch gekuppelte Stofsschwellen (s. Abb. 50 u. 51).

*) Andere Formen der Stofsverbindung s. Blum im Eisenbahnbau der Gegenwart, Abschn. 2 und H. d. I. W., Bd. 5, Kap. IV. Ferner Rölls Enzykl. d. Eisenbahnw., Bd. 5, S. 2506 u. Taf. 47. Auch Haarmann, Das Eisenbahngleis, kritischer Teil, Leipzig 1902 derselbe, Zwei Vorträge, Osnabrück 1904. S. a. Z. f. A. u. I. W. 1897.

Stumpfer Stofs der Preufs St.-B. (1900) für Schiene Nr. 8, Abb. 49 u. 32 Die Anordnung des Stofses und der Schwellenteilung ist für Holz- und Eisenschwellen gleich

Preufs. Oberbau	Schienen- länge m	Schwellen- zahl	Teilung der Querschwellen in mm	Länge der Laschen mm
Hauptbahnen.				
6 ^e	12	18	500—653—15 × 680—653—500	790
"	10	15	500—673—12 × 680— usw.	"
7 ^d	15	*)	500— nicht über 600	760
7 ^e	18	27	500—593—24 × 600— usw.	790
8 ^b	15	24	530—623—21 × 630— "	820
"	12	20	530—500—513—15 × 630— usw.	"
9 ^d	15	*)	500— nicht über 600	780
9 ^e	18	29	500—548—26 × 600— usw.	820
8d—15 ^c	15	24**)	260—500—573,5—21 × 600— usw.	600
"	"	24†)	235—500—586—21 × 600— "	"
"	12	19**)	260—500—573,5—16 × 600— "	"
"	"	19†)	235—500—586—16 × 600— "	"
9i—16 ^g	18	29**)	260—500—573,5—26 × 600— "	"
"	"	29†)	235—500—586—26 × 600— "	"
8f—16 ^e	15	*)	260— nicht über 600	"

Nebenbahnen.

6 ^e	12	17	500—713—14 × 720 usw.	790
"	10	15	500—576—577—10 × 720 usw.	"

Hierbei kennzeichnet die Ziffer die Form der Schiene (vgl. Abb. 25 bis 28), der kleine Buchstabe die Länge und die Lochung der Schiene.

Bei dem Blattstofs 7^d und 9^d beträgt die nutzbare Schienenlänge 15 m, die wirkliche 15,220 m; — 7^e und 9^e sind Tunnelschienen. Die Laschen der schwebenden Stöße haben 6, die der Breitschwellenstöße 4 Schrauben.

Die **Schwellenzahl** ergibt sich aus vorstehender Tabelle. Verfahren sich trotz dieser verhältnismässig engen Teilung einzelne Bogen, so empfiehlt sich, namentlich bei den Teilungen über 700 mm, die Vermehrung der Schwellen.

Die **Blattstofs-Oberbauformen** 7^d, 9^d und 16^e finden auf längeren Brücken Anwendung, um die zerstörende Einwirkung der Schienenstöße auf die Fahrbahn und das lästige Geräusch zu vermindern.

Die Oberbauformen 7^e und 9^e mit stumpf gestofsenen, 18 m langen Schienen und 18 mm Stegdicke sollen in Tunneln wegen starker Rostbildung die Zahl der Laschen- und Schraubenverbindungen möglichst verringern; die Bundmuttern sind auf ihrer Sitzfläche und nach dem Anziehen auch auf den übrigen Flächen mit Teer zu bestreichen. (Vgl. hierzu I. Bd. Rostschutz des Eisens, S. 638.)

Der **Laschen-Querschnitt** für die Schienen 6 und 7 und ebenso für die Schienen 8, 9, 15 und 16 unter sich ist derselbe. Auch ist die Höhe des oberen Teils bei allen Laschen und der Laschenkammer so bemessen, dass sie im Notfalle auch an die anderen Schienen passen, jedoch abgesehen von der Lochung, die ebenso wie die Stärkeabmessungen

*) Blattstofs-schienen auf eisernen Brücken.

***) Hölzerne Mittelschwellen, am Stofs Breitschwellen.

†) Eisernen Mittelschwellen, am Stofs Breitschwellen.

verschieden sind. Stets ist für Holz- und Eisenschwellen die Laschenform, auch in den Längenmaßen und der Bearbeitung, bei derselben Oberbauform gleich. Für die Laschen des preuß. Oberbaues 1902 dient die nachstehende Uebersicht:

Lasche 1902 Preuß. St.-B. Nr.	Länge der Lasche mm	Höhe mm	Gewicht		Quer- schnitt qcm	Für die wagerechte Schwerachse	
			Innen- lasche kg	Außen- lasche kg		Trägheits- moment cm ⁴	Widerstands- moment ccm
6 ^e u. 7 ^e	790	143,5	15,43	15,23	31,79	419,8	56,4
7 ^d	760	143,5	14,86	14,66	31,79	419,8	56,4
8 ^b u. 9 ^e	820	148,75	20,92	20,68	41,41	604,4	77,1
9 ^d	780	148,75	19,70	19,45	41,41	604,4	77,1
8 ^d u. 15 ^c	600	99,5	9,43	9,43	22,35	178,65	33,55
9 ⁱ u. 16 ^c	600	99,5	9,43	9,43	22,35	178,65	33,55
8 ^f u. 16 ^e	600	99,5	9,43	9,43	22,35	178,65	33,55

Bei allem Kleineisenzeug ist möglichste Einheitlichkeit angestrebt; für die Schraubenmutter aller Oberbauformen sind nur zwei Schlüsselweiten erforderlich.

Uebergang-Stoßverbindungen. Für den Anschluß der Blattstoffschiene 7^d und 9^d an die Formen 6^e und 8^b werden Uebergangsschienen eingelegt, die an einem Ende für die Verblattung und am anderen Ende für den stumpfen Stoß eingerichtet sind. — Zur Verbindung zweier Oberbauformen mit völlig wechselnder Schienenform dienen besonders bearbeitete Uebergangslaschen von kräftigem Flachprofil ohne Ansätze bei gleichzeitiger Verminderung der Schwellenentfernung am Stöße.

Materialbedarf an Eisenteilen für die hauptsächlichsten Oberbauarten der preuß. Staatsbahn mit Eisenschwellen etwa 158,9 bis 225,9 t auf 1 km Gleis.

Material - Kosten des Oberbaues mit getränkten 2,7 m langen kiefernen Querschwellen — 18 Stück auf 12 m — und 33,4 kg/m schweren mit Wenderklemmen versehenen Stahlschienen für 1 km Gleis ohne Bettung zur Zeit etwa 19 800 *M*, mit Eichenschwellen 23 400, mit Eisenschwellen 21 000. Mit Schienen 8^b von 41 kg/m und 24 Schwellen auf 15 m: Kiefernswellen etwa 22 400 *M*, Eichenschwellen 26 200, Eisenschwellen 24 100. Mit Schienen 8^d von 41 kg/m, 24 Mittelschwellen auf 15 m, an den Stößen Breitschwellen: Kiefernswellen etwa 24 200 *M*, Eichenschwellen 28 300, Eisenschwellen 27 100. Mit Schienen 15^c von 45 kg/m und 24 Mittelschwellen auf 15 m, an den Stößen Breitschwellen: Kiefernswellen etwa 25 500 *M*, Eichenschwellen 29 600, Eisenschwellen 28 400

5. Langschwellen

haben nur für untergeordnete Bahnen, auch Straßenbahnen, sowie für besondere Zwecke (z. B. einzupflasternde Gleise) noch Bedeutung (vgl. TV. § 12; Grz. § 10).

Langschwellen-Oberbau hat sich nicht dauernd bewährt, namentlich wegen zunehmender Schwierigkeit der Entwässerung und ungenügender Auflagerfläche, zumal bei Erhöhung des Druckes auf die Bettung an den Außenkanten durch seitliche Kräfte.

6. Die Bettung.

Die Bettung bezweckt Druckverteilung unter den Schwellen und Trockenhaltung, also Sicherung der Lage des Gestänges und Dauerhaftigkeit des Oberbaues. Deshalb erforderlich: genügende Festigkeit der einzelnen Stücke gegen Zerdrücken; vollkommene Beständigkeit

gegen Frost und Verwittern (T V. § 3; Grz. § 3); Durchlässigkeit; Stopfbarkeit, also viel Reibung, deshalb KorngröÙe nicht zu fein, nicht allzu groÙ (etwa Erbsen- bis HühnereigröÙe) und möglichst scharfkantige Gestalt.

Am besten Steinschlag (etwa 5 cm, in Preußen 3 bis 6 cm). Sodann Flufskies, Grubenkies bedarf u. Umst. erst der Reinigung durch Sieben. Sand nur im Notfalle. Hochofenschlacke, wenn fest genug und frostbeständig. Packlage (jedoch nur auf fester Unterlage) ist zur besseren Entwässerung unter feinem Kiese wünschenswert. Auf weicher Unterlage unter dem Steinschlag besser erst eine Schicht von Kies oder grobem Sand. — Herstellung und Erhaltung vollkommenster Entwässerung, namentlich bei Eischwellen, durchaus notwendig; u. Umst. mit Hülfe von Sickerschlitzen in der Bettung; am schwersten bei Langschwellen erreichbar. — Zu beachten sind die Untersuchungen von E. Schubert.*)

Stärke der Bettung mit Rücksicht auf ruhige Gleislage nicht zu gering; sie sei unter der Unterkante der Querschwellen ≥ 200 mm (T V. § 3), unter Langschwellen ≥ 300 mm; besser stärker, zumal in feuchten Einschnitten.*) Bei Nebenbahnen genügen, je nach örtlichen Verhältnissen, noch 150 mm (T V. § 3), bei vollspurigen Lokalbahnen 180 mm, bei Schmalspur 100 mm unter Schwellenunterkante; gröÙere Bettungsstärken erwünscht (Grz. § 3). — Abwässerung des Planums unter der Bettung, s. S. 787.

Materialbedarf bei 0,4 m mittlerer Bettungsstärke unter Schwellenoberkante 1,6 bis 2,1 cbm für 1 m Gleis (i. M. 1,75 cbm). — In England wesentlich stärkere (0,5 bis 0,6 m) Bettung üblich (2,6 cbm). In Preußen neuerdings unter Schwellenunterkante 0,30 m für Hauptbahnen (1,82 cbm), 0,20 m für Nebenbahnen (1,28 cbm).

III. Weichen und Kreuzungen.

a. Gestaltung der Teile.

1. Zungen- oder Lenkvorrichtung. Uebliche Form bei Weichen in Hauptgleisen: gleich lange Zungen von mindestens 5 m Länge, mit der Spitze unter den Kopf der Backenschiene unterschlagend oder scharf anschließend und gegen deren Anfang um etwa 0,5 bis 1,5 m zurücktretend. Ende der Backenschiene zweckmäÙig ≥ 1 bis 1,5 m hinter dem Ende der Zunge und beide StöÙe schwebend, so daÙ auch das Zungenende durch zwei besonders nahe gelegte Schwellen unterstützt wird und von unten zugänglich bleibt. Material: Flufsstahl.

Zungenlänge beispielsweise bei der preußs. Norm.**)

6,1 und 5,8 m	bei 1:10;
5,3 und 5,0 m	bei 1:9 für Schienen 8 ^a und 6 ^d ;
Backenschiene	8,8 und 8,0 m, bzw. 7,5 und 7,1 m.

Federnde Zungen (Patent Bochum, Pr. Nr. 1902) für 8^a werden 10,6

*) E. Schubert, Umbildung des Planums, Z. f. B. 1889 S. 555 und 1891 S. 61; Sonderdruck bei Wilh. Ernst u. Sohn, Berlin; auch O. f. F. 1891. — E. Schubert, Der Einfluß des Querschnittes einer Eisenbahnschwelle auf den Kiesverbrauch und die Unterhaltungskosten, Z. f. B. 1896 S. 79. — E. Schubert, Schwellenabstand und Bettungstoff im Eisenbahngleise, Z. f. B. 1897 S. 207; Sonderdruck bei Wilh. Ernst u. Sohn, Berlin.

**) Die Abkürzung „preußs. Norm.“ oder „Pr. N.“ bedeutet hier und im folgenden: Weichennormen der preußs. Staatsbahnen. Vgl. die bei der K. E. D. Essen u. beim E. Zentralamt Berlin erschienenen Zeichnungen von Weichen.

≥ 44 mm). An der inneren kommt etwa 13 bis 15 mm Spurerweiterung hinzu, die vor dem Herzstücke wieder aufhört; an der Herzstückspitze soll auch das gekrümmte Gleis der Weiche die normale Spur (1.435 m in 14 mm unter SO.) haben (TV. § 40). Am Stofse vor der Zunge beträgt die Spurerweiterung bis 10 mm. (In England keine Spurerweiterung.) Die Zunge an der geraden (äusseren) Backenschiene erhält (vor der Hobelung) eine Biegung (preufs. Norm. 245 m Halbm. bei 1:10, 190 m Halbm. bei 1:9). Dadurch sanfterer Uebergang in den ablenkenden Strang (z. B. Anschlagwinkel nur $0^{\circ}27'$ bzw. $0^{\circ}33'$) und bereits grösserer Winkel am Zungenende ($1^{\circ}40\frac{1}{2}'$ bzw. $1^{\circ}54\frac{1}{2}'$), mithin grösserer Halbm. für die folgende Weichenkrümmung. An der inneren gebogenen Backenschiene (preufs. Norm. mit 243 55 m Halbm. bei 1:10; 188,55 m Halbm. bei 1:9) eine gerade Zunge.

Spitzenverschlufs zur Festhaltung der anliegenden Zunge an der Backenschiene. Verschlufs soll „aufschneidbar“ sein, d. h. bei Fahrt von hinten aus der Weiche auch bei falscher Lage der Zungen die Umstellung der Weiche durch den Radflansch ermöglichen.

Zweckmässig hierfür das Hakenweichen-schlofs der preufs. St.-B., für dessen Bauart jedoch noch Aenderungen erprobt werden (s. Abb. 53).

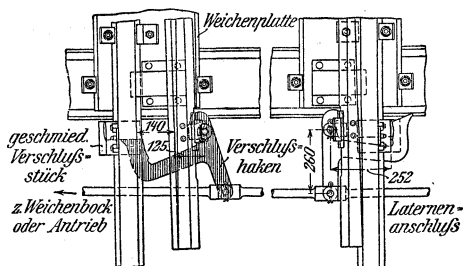
2. Lenkstange und Weichenbock mit Gegengewicht, damit Anschluss sicher. Hub = Bewegung der Zunge am Angriffspunkte der Lenkstange (preufs. Norm. 140 mm). Gegen-

gewicht in der Regel zum Umlegen, auch verschliessbar. Bei Einlauf- und sonst wichtigen Weichen Verschlufs und mechanische Verbindung der Lenkstange mit Signal-Scheibe bzw. -Laterne am Bocke selbst oder auch auf weitere Entfernung.

3. Zusammenführung der Weichenbewegung („Stellwerk“) durch Stangen- oder doppelte Drahtleitung zur Vereinfachung, Beschleunigung und (in Verbindung mit der Stellung der Signale für die Zugfahrten) zur Sicherung der Zugbewegungen.*)

4 Herzstück. a) „Blockherzstücke“ in Eisenhartguß, besser Flusstahl, gegossen. Umwendbarkeit hat sich nicht bewährt, Spitze allmählich ansteigend; Flügelschienen so, dass das Rad stetig unterstützt bleibt ohne Auflauf des Spurkranzes. — Anschluss der Schienen ausßen mit Winkellaschen, innen mittels eingelegten oder am Herzstücke angegossenen Keilstückes.

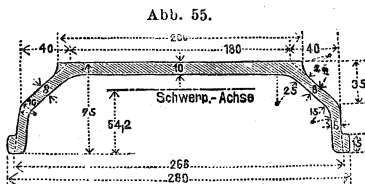
Abb. 53.



*) S. Scholkmann, Signal- und Sicherungsanlagen, 3 Bde., Wiesbaden 1901/04 in Eisenbahnbau der Gegenwart, 4); Scheibner, Mechan. Sicherheitsstellwerke, Berlin 1904. Taschenbuch der Hütte. 21. Aufl. III. Baud.

Zweckmäßiges Radlenker-Profil (preufs. Norm.) s. Abb. 54; Gewicht des Radlenkers bei 3,5 m Länge 101,6 kg.

6. Querschwellen der Weichen aus Holz (Querschnitt 30 · 18 cm) oder Eisen, mit wechselnden Längen von 2,7 m bis 6 m, Abb. 55 zeigt den Querschnitt der flusseisernen Weichenschwelle der preufs. Norm. mit $F = 35,18 \text{ qcm}$, $W = 33,53 \text{ cm}^3$ und $g = 27,6 \text{ kg/m}$. — Die Schienenneigung wird in Weichen oft fortgelassen; so auch bei den preufs. Staatsbahnen. — Die Ueberhöhung des äußeren Schienenstranges pflegt bei den Weichenkrümmungen zu unterbleiben (T.V. § 39; Grz. § 31).



7. Gleiskreuzungen (s. Abb. 63 auf S. 824). Der Radlenker läßt bei spitzem Winkel (unter rd. 16°) eine führungslöse Stelle bestehen (diese z. B. bei 1:10 etwa 0,5 m lang); besonders hier ist die Ueberhöhung der Radlenker zweckmäßig (preufs. Norm. nur 40 mm), um der Abnutzung der Kreuzstück-Fahrflächen Rechnung zu tragen.

8. Kreuzungsweichen (s. Abb. 64 u. 65 auf S. 824). Doppelte Kreuzungsweichen beanspruchen mindestens 400 mm Lichtraum (preufs. Norm. 454 mm), einfache können mit der Hälfte auskommen, werden jedoch stets mit gleichem Abstände wie die ersten gebildet, um verschiedene Formen zu vermeiden. Dadurch bestimmt sich die Entfernung der Zungenspitze von der mathematischen Herzstückspitze (bei 1:10 etwa 4,5 m, also von dem Herzstückanfang oder Schienenstosse etwa 6 m). Die Zungenvorrichtung ist gleich der der Normalweiche, wodurch neue Formen vermieden werden. — Umstellung der doppelten Kreuzungsweichen entweder so, daß die nebeneinanderliegenden zwei Zungenpaare sich entgegengesetzt bewegen — Kreuzschaltung —, oder in derselben Richtung — Parallelschaltung. Für Kreuzschaltung genügt ein Bock, für Parallelschaltung zwei Böcke erforderlich. Auch einfache Kreuzungsweiche kann auf beide Arten gestellt werden. — Halbmesser zwischen den Zungenvorrichtungen z. B. bei preufs. Norm. 245 m bei 1:10 und 230 m bei 1:9.

b. Geometrische Anordnung der Weichen.

1. **Einfache Weiche** („Rechtsweiche“ oder „Linksweiche“) ist die Abzweigung aus gerade fortlaufendem Gleise. Maßgebende Größen (sofern die Zungenvorrichtung durch die Zungenlänge z , das Maß i und den Winkel β bereits feststehen):

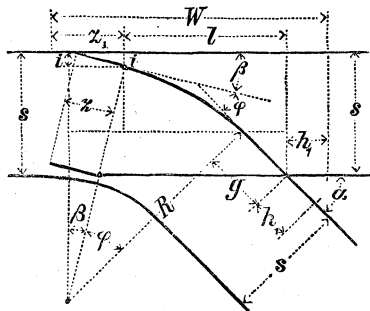
- 1) Der beabsichtigte Weichenwinkel α (z. B. für $\text{ctg } \alpha = 10$ oder 9).
- 2) Der am Zungenende bereits erreichte Winkel β (s. Abb. 56). Demnach bleibt zu überwinden zwischen Zunge und Herzstück der Winkel

$$\varphi = \alpha - \beta.$$

- 3) Die wegen sicherer Fahrt und verminderter Abnutzung erforderliche gerade Länge $g \geq 1 \text{ m}$ vor der mathematischen Herzstückspitze (Schnittpunkt der Schienenleitkanten), (preufs. Norm. $g = 2,315 \text{ m}$).

Der Schienenstrang zwischen Zungenende und Herzstückanfang, dessen Länge im krummen und geraden Strange sich nur etwa um 50 bis 60 mm unterscheidet, soll aus einigen bestimmten Schienenlängen herstellbar sein.

Abb. 56. (Rechtsweiche.)

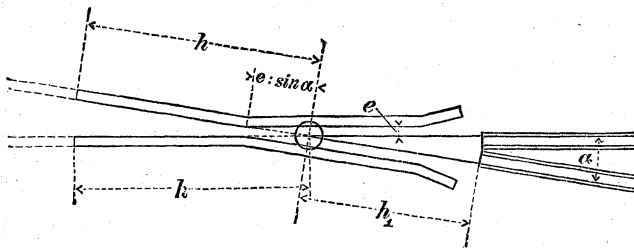


Nach Abb. 56, worin die einfachen Linien die Leitkanten der Schienen darstellen, und nach Abb. 57 sei $s = 1,435$ m die Spurweite, i der Abstand der Leitkanten am Zungenende gleich Spurkranzrinne + Zungenkopfbreite (z. B. bei Schienen Nr. 6: $i = 65 + 58 = 123$ mm*); $s - i = 1,435 - 0,123 = 1,312$ m; ferner z_1 die Länge vom Stofs vor der Weiche bis zum Ende der Zunge und h die Länge der Herzstückschienen vor dem Schnitt

der Leitkanten, dann ist bei der Normalweiche

$$\begin{aligned} i + R(\cos \beta - \cos \alpha) + g \sin \alpha &= s, \\ R(\sin \alpha - \sin \beta) + g \cos \alpha &= l. \end{aligned}$$

Abb. 57.



des Herzstückes bekannt ist oder (bei Anwendung des Schienenherzstückes) sachgemäß festgesetzt wird:

$h \geq \text{Spurkranzrinne mal cosec } \alpha + \text{ halbe Laschenlänge.}$

Diese vorläufig berechnete Länge l_1 wird dann durch Zusammensetzung aus Schienenlängen (mit Zwischenräumen) tunlichst passend gebildet und danach l genau festgestellt, sodann die genaue Länge von g aus Gl. I und der Halbmesser R aus Gl. II berechnet.

Ist dagegen R bereits festgesetzt, so ergeben sich g und l sofort aus den beiden ersten Gleichungen.

Die gerade Länge h_1 (s. Abb. 56 u. 57) von der mathematischen Herzstückspitze bis zum Herzstückende (Schienenstofs) würde ohne Bearbeitung der Anschlussschienen von k mm Kopf- und f mm Fußbreite (in mm) nahezu betragen:

$$h_1 = (k + f) \operatorname{ctg} \alpha.$$

Bei preufs. Norm. ist diese Länge durch Bearbeitung der zusammenstossenden Schienenfüße um etwas gekürzt und beträgt für 6^d-Schienen 1460 mm bei 1:9 und 1:10, für 8^a-Schienen 1460 und 1490 mm.

Die ganze Weichenlänge, vom vorderen Schienenstofs bis zum Ende des Herzstückes, ist (vgl. Abb. 58)

$$W = z_1 + l + h_1 = a + b,$$

worin z_1 die Länge vom Weichenanfang (Schienenstofs vor der Zungen- spitze) bis zum Zungenende bezeichnet; (preufs. Norm. 6,34 m bei 1:9 und 7,08 m bei 1:10 für 8^a Schienen). Der Schnittpunkt der rückwärtig verlängerten Herzstückgraden (in der Mittellinie der Gleise gedacht) heisst der Knotenpunkt der Weiche.

Bei preufs. Norm. folgen hinter dem Herzstücke noch „Pafsschienen“ für jede Richtung, um am Ende der Aufsen-schienen wieder beide Schienenstöße jedes Gleises in Uebereinstimmung zu haben und von da an beide Gleise unabhängig voneinander weiterführen zu können, wenn dies wegen anderer Abzweigungen nötig ist. Andernfalls

Abb. 58. (Rechtsweiche.)

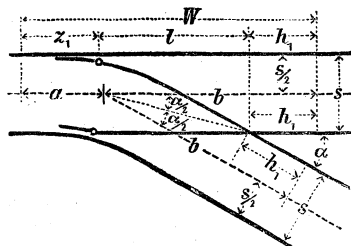
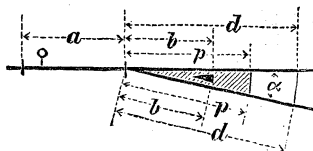


Abb. 59.



folgen noch einige ganz durchgehende Weichenschwellen. — Bei der Herzstückspitze aus zusammenlaufenden Schienen fällt der Stofs hinter der Spitze weg; die Pafsschienen selbst bilden die Spitze (Pr. N. 1902).

Das Mafs p (s. Abb. 59) vom Knotenpunkt der Weiche bis zum Ende der Pafsschiene ist stets frei von anderen Weichen zu halten. Erst dann kann eine neue Abzweigung erfolgen, d. h. mit dem Mafs a beginnen.

Mittellinien der Normalweiche (Abb. 58 u. 59):

$b = \frac{1}{2}s \operatorname{ctg} \frac{1}{2}\alpha + h_1$; nahezu: $b = 1,6 \operatorname{ctg} \alpha$ in m; $a = W - b$.

$p = b + \text{Pafsschienenlänge}$. Das Maß d vom Knotenpunkt bis zum Sperrzeichen s. unter 3.

Spurerweiterung in der Weichenkrümmung bis 30 mm gestattet (BO § 93; T.V.* § 2; Grz. § 2), beispielsweise 15 mm im mittleren Teile der Krümmung (preufs. Norm.), vor dem Herzstücke wieder auslaufend. Vgl. T.V. § 40. In England keine Erweiterung.

Krümmungshalbmesser ≥ 180 m für Weichenbögen, die von ganzen Zügen durchfahren werden; für Ein- und Ausfahrweichen in Hauptgleisen größer (T.V. § 39), bei rascher Fahrt 300 bis 500 m erwünscht, s. 2f. Bei der Normalweiche 1:10 mit gekrümmten Zungen 270 m erreichbar. (Preufs. Norm. 500 bei 1:14, 245 bei 1:10, 190 bis 1:9.) — Für Lokalbahnen s. Grz. § 22 u. 31. Für Verschiebebahnhöfe 140 m bei 1:7 zulässig (preufs. Norm. 1903).

2. Andere Weichenformen mit gleicher Zungenvorrichtung.

a) Einfache und doppelte Kreuzungsweiche ohne neues Herzstück (Abb. 64 u. 65, S. 824).

b) Verschränkte Doppelweiche unter Anwendung zweier Herzstücke der einfachen Weiche und eines unsymmetrisch liegenden Mittelherzstückes (Abb. 69, S. 824).

c) Konvexe (unsymmetrische) Zweibogenweiche (Abb. 70, S. 824; entsteht aus b) durch Fortnahme des geraden Stranges.

Symmetrische Doppel- und Zweibogenweichen sind wegen Hinzutritts neuer Zungenformen und anderer Uebelstände zu vermeiden.

d) Einseitige (verschränkte) Doppelweiche (Abb. 71, S. 825) mit zwei Normal-Zungenvorrichtungen der Weiche 1:9, mit zwei Normalherzstücken 1:10 und einem Mittelherzstücke 1:8, erspart bei Entwicklung vieler Gleise erheblich an unnutzbarer Gleislänge und Raum. Preufs. Norm. 1902. S. Ziegler, Fußnote S. 820.

e) Konkave Zweibogenweiche (mit normalem Herzstücke) zur Abzweigung aus krummem Gleise nach der inneren Seite (Abb. 72, S. 825) entsteht aus d) durch Fortnahme des geraden Stranges.

f) Einfache Weichen mit gekrümmtem Mutterstrange und gleich- oder entgegengesetzt gerichteter Ablenkung neuerdings häufiger, namentlich für in Krümmung liegende Bahnhofsteile, die von Zügen durchfahren werden. Pr. N. seit 1903: Halbmesser des Mutterstranges 500, 750 und 1000 m, des gleichgerichteten ablenkenden Stranges 170, 190 und 255 m, des entgegengesetzt gerichteten 600 und 400 m. Weichenwinkel 1:10, bei 1000 m 1:11. — Zungen federnd.

3. Sperrzeichen (Merkzeichen). Auf Stationen ist zwischen zusammenlaufenden Gleisen da, wo die Entfernung der Gleismitten 3,5 m beträgt, ein deutlich erkennbares Merk- oder Sperrzeichen erforderlich, bis zu dem höchstens Wagen auf einem Strange stehen dürfen, ohne die Durchfahrt im anderen zu gefährden. (T.V. § 42; Grz. § 33.)

Bei Anschlußgleisen auf freier Strecke ist das Sperrzeichen da anzubringen, wo der Gleismittenabstand 4 m beträgt (T.V. § 31). Hier- nach ist also (s. Abb. 59, S. 821) $d = 3,5 \operatorname{ctg} \alpha$ oder $d = 4 \operatorname{ctg} \alpha$ in m.

4. Weichen in Hauptgleisen müssen so eingerichtet sein, daß auch bei falscher Weichenstellung ein Ablaufen der Fahrzeuge von den Schienen ausgeschlossen ist (T V. * § 40). Für Lokalbahnen gilt die vorstehende Bestimmung über die Bauart der Weichen nur dann, wenn $V \geq 20$ km/st ist (Grz. § 32).

c. Mittellinien der gebräuchlichsten Formen für Gleispläne.

1. Die **einfache Weiche** (Rechtsweiche s. Abb. 60; Linksweiche s. Abb. 61). Uebliche Weichenwinkel namentlich $\text{ctg } \alpha = 10$ und $\text{ctg } \alpha = 9^*$; für Verschiebebahnhöfe und Nebenbahnen auch wohl $\text{ctg } \alpha = 8$ (Baden 1904 mit 165 m H.) und sogar 7 mit 140 m Halbmesser. (Preufs. Norm. 1903.) Mögliche (abgerundete) Längenmaße (in m) unter Annahme gekrümmter Zungen:

$\text{ctg } \alpha = 8$	9	10	11	12
$\alpha = 7^\circ 7' 30''$	$6^\circ 20' 25''$	$5^\circ 42' 38''$	$5^\circ 11' 40''$	$4^\circ 45' 49''$
$W = 24,0$	25,5	27,5	29,0	31,5 m
$a = 11,0$	11,0	11,5	11,5	11,5 "
$b = 13,0$	14,5	16,0	17,5	20,0 "
$R = 165$	210	270	350	400 "

Maße der preufs. Norm für Schienen 8^a.**)

$\text{ctg } \alpha = 10$; $a = 10,93$; $b = 15,88$; $p = 19,19$; $R = 245$,
 $\text{ctg } \alpha = 9$; $a = 9,43$; $b = 14,42$; $p = 17,59$; $R = 190$.

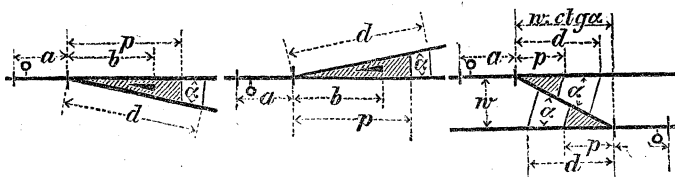
Dsgl. für Schienen 6^d.**)

$\text{ctg } \alpha = 10$; $a = 10,93$; $b = 15,85$; $p = 19,09$; $R = 245$,
 $\text{ctg } \alpha = 9$; $a = 9,33$; $b = 14,42$; $p = 17,59$; $R = 190$,
 $\text{ctg } \alpha = 7$; $a = 7,67$; $b = 11,35$; $p = 12,93$; $R = 140$.

Abb. 60.

Abb. 61.

Abb. 62.



2. **Einfache Gleisverbindung** zwischen Parallelgleisen im Abstände w (Abb. 62). Ganze Länge $= w \text{ ctg } \alpha + 2a$; Länge zwischen den Knotenpunkten $= w \text{ ctg } \alpha$; Entfernung d vom Knotenpunkte bis zum Sperrzeichen $= 3,5 \text{ ctg } \alpha$ in m.

*) Preuß. Norm. auch $\text{ctg } \alpha = 14$ (1908).

**) Für das Entwerfen von Gleisplänen in 1:1000 genügen folgende Abrundungen
 bei (8^a und 6^d-Schienen): $\text{ctg } \alpha = 10$; $a = 11$; $p = 19$; $w = 30$ m,
 $\text{ctg } \alpha = 9$; $a = 9,5$; $p = 17,5$; $w = 27$ m,
 $\text{ctg } \alpha = 7$; $a = 8$; $p = 13$; $w = 21$ m.

Bei einem Gleisabstande von $w = 4,5$ m ist

für $\text{ctg } \alpha =$	7	8	9	10	11	12
$w \text{ ctg } \alpha =$	31,5	36,0	40,5	45,0	49,5	54,0 m
$d =$	24,5	28,0	31,5	35,0	38,5	42,0 m.

3 **Gleiskreuzung** unter dem Winkel α (Abb. 63).

4 **Kreuzungsweiche**, unter dem Winkel α : einfache, Abb. 64; doppelte, Abb. 65. Bei Hauptbahnen $\text{ctg } \alpha \geq 9$, vgl. S. 823. — **Weichenverschlingung** „links“ und „rechts“ (Abb. 66 u. 67), die ohne Veränderung der Lage der anschließenden Gleise den späteren Ausbau zur vollen Kreuzungsweiche gestattet.

Zu 3. und 4.: Gröfsen b , p und d bei den preufs. Norm. wie oben zu 1. und 2. Auch für krumme Gleise ($R = 500$ m) versuchsweise ausgeführt.

Abb. 63.

Abb. 64.

Abb. 65.

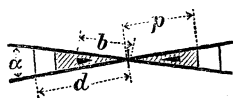


Abb. 66.

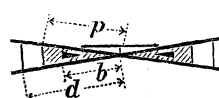


Abb. 67.

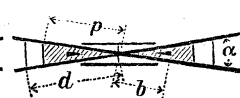
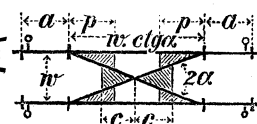
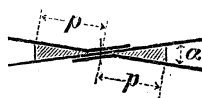


Abb. 68.



5. **Doppelte Gleisverbindung** oder **Weichenkreuz**, Abb. 68, symmetrisch anzuordnen. Zweckmässig nur für $w \geq 4,2$ m zu verwenden.

$c = \frac{1}{2} s \text{ ctg } \alpha + h$; bei $\text{ctg } \alpha = 10$ ist c etwa $= 8$ m.

6. **Zweiseitige Doppelweiche**,*) Abb. 69. $c = 9,5$ und $11,0$.

Für das Entwerfen von Gleisplänen (in 1:1000) genügt die Abrundung der Längenmasse auf halbe Meter. Man braucht hierzu für die **Doppelweichen** beider Schienenformen nur die **runden** Masse zu merken:

$\text{ctg } \alpha = 10$; $a = 11$; $c = 11$; $b = 16$; $p_1 = 19$;

$\text{ctg } \alpha = 9$; $a = 9,5$; $c = 9,5$; $b = 14,9$; $p_1 = 18$;

$\text{ctg } \alpha = 7$; $a = 7,7$; $c = 6,9$; $b = 11,4$; $p_1 = 13$.

Abb. 69.

(Nr. 6. Doppelweiche rechts.)

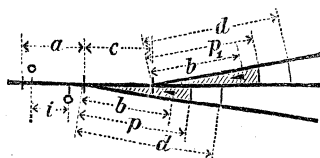
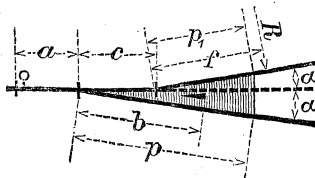


Abb. 70.

(Nr. 7. Zweibogenweiche rechts.)



Dazu noch $p = 28$ und 27 für 1:10; $p = 24,5$ für 1:9. Ebenso für die **Zweibogenweichen**: a und c wie bei den entsprechenden Doppel-

*) Bei Nr. 6 u. 7 wird das Mittelherzstück in der Krümmung ohne Gerade ausgeführt

weichen, im übrigen $b = 12,5$ und $p = 18,5$ für 1:10; $b = 11,5$ und $p = 16,5$ für 1:9.

7. Unsymmetrische zweiseitige **Zweibogenweiche**,*) Abb. 70.

8. Die **einseitige Doppelweiche** (Abb. 71).

Mittelherzstück 1:8; beide Zungenvorrichtungen gleich denen der preussischen Norm. 1:9, jedoch $\text{ctg } \alpha = 10$. Abstand der Weichenanfänge 10,00 m.**)

9. Die **einseitige oder konkave Zweibogenweiche** (Abb. 72)

bei Anwendung der gleichen Zungenvorrichtung und des gleichen Mittelherzstückes wie bei Nr. 8, also ohne neue Formen. Eine andere Weichenform dieser Art ist bei der Sächsischen Staatsbahn in Gebrauch mit einem Herzstückwinkel von 1:13 und einem Halbmesser von 242,5 m im äusseren, 180 m im inneren Strange; ähnlich auch in Bayern.

Beispiele zu 6. bis 9. aus den derzeitigen Pr. N. für $\text{ctg } \alpha = 10$, 9 und 7 gibt folgende Tafel (Längenfasse in m etwas abgerundet):

Nr.	Abb.	ctg α	a	b	c	p ^{***})	p ₁	f	R
Schienen 8 ^a									
6	69	10	10,93	15,85	11,00	28,48	19,19	—	245
		9	9,43	14,42	9,50	24,56	17,59	—	190
7	70	10	10,93	12,60	11,00	18,48	7,46	12,07	235; 245
		9	9,43	11,43	9,50	16,55	7,03	10,37	180; 190
Schienen 6 ^d									
6	69	10	10,93	15,85	11,00	26,88	19,09	12,07	245
		9	9,33	14,42	9,50	24,39	17,59	10,37	190
		7	7,67	11,35	6,90	18,79	12,93	—	140
7	70	10	10,93	12,65	11,00	18,18	7,16	12,07	235; 245
		9	9,43	11,43	9,50	16,24	6,72	10,37	180; 190
8	71	10	13,45	15,85	5,245	21,102	19,09	10,44	190; 180
9	72	10	11,59	15,85	1,47	19,09	—	2,28	190; 180

*) Bei Nr. 6 u. 7 wird das Mittelherzstück in der Krümmung ohne Gerade ausgeführt.

**) S. preuss. Norm. 1902. Hierbei darf $\text{ctg } \alpha$ nicht grösser sein als 10, weil sonst R zu klein wird.

***)) Die grossen Fasse für p bei Nr. 6 können durch Kürzung der langen Pafsschiene ausnahmsweise vermindert werden.

Abb. 71.

(Nr. 8. Einseitige Doppelweiche rechts.)

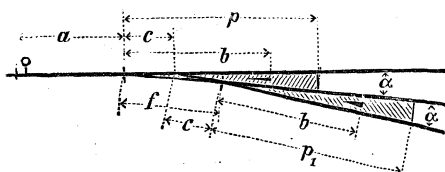
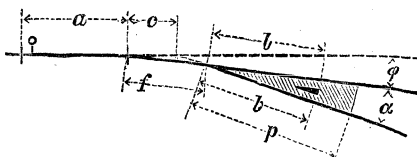


Abb. 72.

(Nr. 9. Einseitige Zweibogenweiche rechts.)

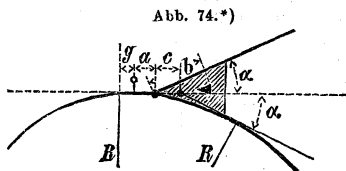
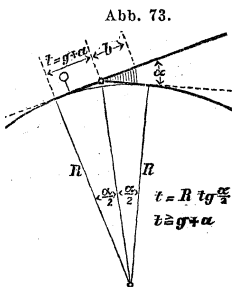


Die Längenmaße ändern sich bei anderer Bauart für dieselben Weichenwinkel nur unbedeutend; solange sie gleich bleiben, genügt deshalb die Innehaltung der vorstehenden abgerundeten Zahlen (namentlich mit Einschluss der Pafsschienen) beim Entwerfen der Gleispläne für alle Fälle, um zu große Annäherung der Weichen zu verhüten. Bei den genauen Absteckungsplänen sind später diese Längen den alsdann bekannten Weichen- und Schienenlängen anzupassen. — Auch für etwas steilere Weichenwinkel können vorstehende Längenmaße, dann als jedenfalls reichlich, vorläufig benutzt werden. Dagegen sind die Richtungen stets durchaus genau zu zeichnen und die Schnittpunkte der Mittellinien (Knotenpunkte) von Weichenstrassen mit Parallelgleisen stets durch Abmessung von $w \operatorname{ctg} \alpha$ bzw. $nw \operatorname{ctg} \alpha$ sorgfältigst festzulegen (w = Gleisabstand, n = Zahl der Parallelgleise gleichen Abstandes).

d. Mittellinien bei Abzweigung aus der Krümmung.

1. **Tangentiale äußere Abzweigung** mittels der Normalweiche oder der konvexen Zweibogenweiche. (Abb. 73 u. 74.)

Erforderliche Tangentenlänge: $t = g + a$ (g = Vorgerade) oder $t = b$, wenn $b > g + a$, bzw. $t = g + a + c$ bei der Zweibogenweiche. (Die Pafsstücke können in der Krümmung liegen.) Ferner



ist der kleinste Halbmesser des Stammgleises, bei dem die Anordnung noch möglich ist, $R = t \operatorname{ctg} \frac{1}{2} \alpha$, oder genau genug: $R \geq 2 t \operatorname{ctg} \alpha$.

Z. B.: $\operatorname{ctg} \alpha = 10$; $g = 10$ m; $a = 10,9$ m (Abb. 73). Dann muß sein: $R \geq 2 \cdot 20,9 \cdot 10 = 418$ m, und für $g = 0$, $b = 14,42$ wird $R \geq 288$ m.

Oder z. B.: $\operatorname{ctg} \alpha = 9$, $g = 0$; $a + c = 9,5 + 9,5 = 19,0$ m (Abb. 70 u. 74). Dann

$$R \geq 2 \cdot 19,0 \cdot 9 = 342 \text{ m.}$$

Nach der anderen Seite wäre $t \geq g + a$, oder $t = b$, wenn $g = 0$; s. Tafel S. 825 Nr. 7.

2. **Tangentiale innere Abzweigung** mittels der konkaven Zweibogenweiche (Abb. 72 und Abb. 75). Erforderliche Tangentenlänge

$$t = g + a \text{ oder } b + f \text{ (der größere Wert gilt).}$$

Kann die Vorgerade g wegfallen (in solchem Falle meist zulässig), so muß $t > b + f$ sein. Als dann ist der kleinste Halbmesser des Stammgleises, bei dem die Anordnung noch möglich ist,

$$R \geq t \operatorname{ctg} \frac{1}{2} \varphi,$$

oder genau genug

$$R \geq 2 t \operatorname{ctg} \varphi \text{ (z. B.: } R \geq 2 \cdot 18,13 \cdot 17,95 = 653 \text{ m).}$$

*) Das Maß a bezieht sich in den Rechnungen überall nicht auf den Weichenbock, sondern auf den Weichenanfang (s. die Abb. 58 bis 62 und 68 bis 72).

zulässig. Sie müssen auch (in Notfällen) unmittelbar von Hand bewegt werden können (auch bei Nebenbahnen) und sind mit Glocke zu versehen. (B O. § 18^{4,5}; T V. § 20).

An Ueberwegen für Fußgänger sind Drehkreuze oder andere in gleicher Weise sichernde Verschlüsse zulässig (B O. § 18⁸; T V. § 19).

Bei Nebenbahnen ist nach B O. § 46⁵ Bewachung an verkehrsreichen Wegübergängen erforderlich, wenn die Fahrgeschwindigkeit $> 15 \text{ km/st}$ beträgt, ferner an allen unübersichtlichen Wegübergängen ohne Schranken, sofern $V > 40 \text{ km/st}$ (B O. § 18).

Bei Lokalbahnen Schranken nur bei lebhaftem Verkehre erforderlich.

Kennzeichen für den Lokomotivführer in angemessener Entfernung vor unbewachten Wegübergängen bei Neben- und Lokalbahnen erforderlich (B O. § 18⁸; T V. § 21; Grz. § 15).

Beleuchtung der Schranken an Haupt- und Nebenbahnen im geschlossenen Zustande bei Fernschluß stets, sonst nur für wichtigere Wege erforderlich (B O. § 49¹).

2. Anordnung der Wegübergänge.

Winkel zwischen Gleis- und Wegachse tunlichst nicht unter 30°. Ausfüllung des Raumes zwischen den Schienen ohne Wölbung. Bei verkehrsreichen Wegen ist außerhalb der Schranken eine (fast) wagerechte Strecke Weges gleich der Länge des größten Fuhrwerkes mit Deichsel (8 bis 10 m) erforderlich (T V. § 17).

Bei starkem Gefälle des Weges zur Bahn hin ist es erwünscht, diese wagerechten Strecken auf 12 bis 15 m auszudehnen.

Kleinste Weite der Schranken für öffentliche Wege etwa 4,5 m. Übliche Weite für Kunststraßen auf dem Lande 6 bis 8 m, für städtische Straßen bis zu deren voller Breite.

3. Oberbau der Wegübergänge.

Masse der Spurrinne, s. S. 775, Einschränkung auf 45 mm Breite bei Anwendung von Zwangschienen zulässig (B O. § 11⁵); solche jedoch zu vermeiden, da die Hufe der Zugtiere leicht einklemmen.

Ausführung: Pflasterung zwischen den Schienen; Spurrinne, gebildet durch kleine, entsprechend behauene Steine (auch Viertelziegel) oder Ausfüllung durch Steinschlag. Zur Erreichung genügender Höhe für Pflaster werden die Querschwellen entsprechend tiefer gelegt und die Schienen mittels untergelegter Futterklötze oder auf vertieften Eisenquerschwellen mittels gußeiserner Hakenstühle (Abb. 46, S. 810) befestigt.

Bei Steinschlag genügt Einfahren der Spurrinne durch die Lokomotive.

4. Ausführung der Schranken.*)

1. **Schiebe- und Rollschranken.** Rundbaum von 10 bis 12 cm Durchmesser bei 5, auch 6 m Weite; mit Mittelstütze bis doppelt so weit. Hochkantige Diele bis 8 m weit, zwischen Leitrollen laufend. Dsgl. leichtes Eisengerätwerk bis 15 m weit; Höhe = $\frac{1}{25}$ der Weite.

*) H. d. I. W., Teil V. Bd. 6. — Besondere Bedingungen für d. Lief. u. Aufstellung von Schlagbaumschranken f. preuß. Staatsbahn. 1908.

Hohe Rollschranken, durch Laufrollen auf Steinschwelle oder Schiene unterstützt, zur Verhinderung des Durchkriechens; meist von Eisen. Z. B. in 2 Teilen bis 12 m Weite und mehr.

2. **Drehschranken** (mit wagerechter Drehung; Nachteil: Platzverbrauch beim Drehen, Erschwerung durch Gegenlehnen von Menschen).

- a) Einlegeschranken für untergeordnete und vorübergehende Zwecke.
- b) Dreh- und Torschranken, auch vollständige Gittertore. Einteilig mit Gegengewicht bis 6 m; ohne solches mit Strebe bis 4 m, mit Spannstangen bis 6 m. Zweiarmlig doppelt so weit.
- c) Schlupfforten, Drehkreuze usw. für Fußgänger.

3. **Schlagschranken** (mit senkrechter Drehung). Einrichtung zweckmäßig so, daß geringe Kraft zur Bewegung ausreicht; Gleichgewichtslage am besten senkrecht (bes. bei städtischen Straßen), es genügt aber auch 60° bis 75° Neigung. — Mechanische Verbindung zwischen den beiderseitigen Schranken mittels Winkelhebel und Stangen, besser mit Rollen und doppelten Drahtzügen, die zwischen den Schwellen durch ein Blechrohr geschützt werden. — Ausfüllung des Raumes unter dem Schlagbaume aus senkrechten, unten verbundenen, in Oesen am Schlagbaume hängenden Drähten gegen Durchkriechen.

4. **Kettenschranken** haben den Vorteil geringsten Zeitaufwandes beim Niederlassen und Anziehen, aber den Nachteil schlechter Sichtbarkeit trotz Beleuchtung; ferner Notwendigkeit einer Kettenrinne, die Einklemmen der Hufe von Tieren veranlassen kann, endlich Möglichkeit, daß sich die Hufe mit der Kette verwickeln.

5. **Versenkte Gelenkschranken** verlangen sehr sorgfältige Ausführung und Bedienung; Reinhaltung der Vertiefung schwierig, zumal bei Schneefall.

6. **Fernschluß-Einrichtungen** (Zugschranken, B O § 18⁴⁻⁶, § 46^{7,8}; T V. § 20) haben folgende Anforderungen zu erfüllen:

α. Läuten vor Schluß muß hinreichend lange und sicher erfolgen.

β. Möglichkeit des Oeffnens von Hand, ohne Rückschlagen, aber zugleich so, daß es vom Wärter sicher durch Schallwirkung (Glocke oder Klappern der Sperrklinke) bemerkt wird und dieser die Schranke wieder schließen kann.

γ. Bei Reißen des Drahtes muß sich die Schranke schließen; sie darf jedoch dabei nicht plötzlich zuschlagen.

δ. Leichte Bewegung.

V. Schutzanlagen.

a. **Grenzschutzstreifen** von 0,5 bis 1 m Breite neben den Einschnitts- und Dammböschungen gegen Benutzung des Nachbargeländes; dsgl. von größerer Breite (2 m und mehr) bei Torfstichen usw.

b. **Einfriedigungen**, wo die Gestaltung der Bahn oder gewöhnliche Bahnbewachung nicht ausreicht. Bei Wegen, die gleich hoch oder höher liegen, sind Schutzwehre erforderlich. U. Umst. genügen Gräben mit Seitenaufwurf. (B O. § 18; T V. § 23.)

Bei Nebenbahnen entscheidet die Aufsichtsbehörde über die Notwendigkeit von Schutzwehren an Wegen (B. O. § 18). Solche können in der Regel auf gefährdete Stellen beschränkt werden und gelten als entbehrlich, wenn die Fahrgeschwindigkeit $V \leq 40$ km/st. (TV. § 23).

Hecken etwa 1,2 m hoch. — Zäune aus Holz, Eisen (vielfach Draht etwa 4 mm stark) oder Stein, namentlich bei Wegen neben der Bahn; oft unter Verwendung alter Schwellen. Hecken und dichte Zäune begünstigen, wenn Bahn und Gelände in gleicher Höhe Schnee- verwehungen.

c. Feuerschutz.*) Feuer entsteht durch Funkenauswurf in Waldungen immer nur bei trockenem Gras, Gestrüpp u. dgl. Den besten Schutz dagegen gewährt ein mit dichtem Wald bestandener Schutzstreifen von 12 bis 15 m Breite (nicht mehr!), der aber am Boden von leicht brennbaren Stoffen freigehalten und beiderseits durch Wundstreifen begrenzt wird, die an der Bahnseite 1 m, an der Waldseite 1,5 m breit sind. Breite freigelegte Steifen sind zu vermeiden, weil sie die Wirkung des Windes und damit das Funkentreiben verstärken. Vorschriften des preuß. Min. d. öffentl. Arb. vom 14. II. 1905 bestimmen:

Wundstreifen sind von brennbaren Sachen frei zu halten, wohl aber (mit Seradella besät) zu bepflanzen. In Entfernungen von 20 bis 40 m sind die Wundstreifen durch gleiche Querstreifen von 1 m zu verbinden. Bei trockenem Moor- und Torfboden kann Besandung zweckmäßig sein. Der Waldstreifen ist bis 1,5 m Höhe von trockenen Zweigen (am Boden mit Ausnahme der bahnsseitigen Aufsenkante auch von grünen Zweigen) frei zu halten. Er wird bei trockenem, dürrigem Boden am besten aus Kiefern, sonst auch Fichten gebildet, da beide durch immergrüne Zweige die Funken jederzeit auffangen. Bis der Bestand 3 m hoch ist, soll ein dahinter etwa bestehender Wald in Breite von 12 bis 15 m bestehen bleiben. Der Bestand ist in 60 bis 80jährigem Betriebe zu erneuern, jedoch nie gleichzeitig an beiden Seiten oder mit dem hinterliegenden Walde.

Vergl. auch die Preuß. Polizeiverordnung betr. Gebäude S. 776.

d. Schneeschutz. Im allgemeinen erforderlich bei Einschnitten bis etwa 4 m Tiefe. Mittel gegen Schneeverwehung sind: Vermeidung flacher Einschnitte soweit möglich, sehr flache Böschungen (1:4 bis 1:5) oder besondere Schnee-Schutzwehren, u. zw. Schneedämme, Schneezäune oder dichte Hecken, wenigstens 1,3 bis 2 m hoch, um das 4- bis 5-fache der Höhe von der Böschungskante entfernt und über die Enden des Einschnittes hinaus verlängert. Auch bewegliche Schneewehren, zeitweis aufgestellt.**) Schon bei der Anlage der Bahn ist auf solche Vorkehrungen Rücksicht zu nehmen (TV. § 25).

e. Schutz gegen Lawinen und Steinschläge im Hochgebirge. Mittel: Verhinderung der Lawinenbildung im Anbruchgebiet (Zäune, Bannwälder), Herrichtung von Ablagerungsflächen oberhalb der Bahn, Leitwerke zur Ablenkung von der Bahn und Schutzdächer oder -gewölbe zur Ueberleitung über die Bahn.

f. Schutzmauern in Gegenden mit häufigen starken Stürmen.

*) Vgl. Kienitz, Maßregeln zur Verhütung von Waldbränden, Berlin 1904, auch Z. d. Ver. d. Eis. Verw. 1903 S. 1280 und 1904 S. 1566.

**) S. Schubert, Schneewehen und Schneeschutzanlagen; Leipzig 1903. — Z. d. B. 1889, 1893 u. 1895. — O. f. F. 1891 u. 1902.

C. Bahnhofsanlagen.*)

a. Gliederung der Bahnhofsanlagen, Uebersicht und Anwendung der Grundformen.

Die Bahnhofsanlagen gliedern sich in **Verkehrs-** und **Betriebsanlagen**.

Erstere zerfallen in Anlagen

1. für den Personen-, Eilgut- und Postverkehr,
2. für den Güterverkehr mit Unterteilung für
 - a) Stückgutverkehr (Güterschuppen und Rampen),
 - b) Wagenladungsverkehr (Freiladegleise, Rampen usw.),
 - c) Viehverkehr (Rampen, Buchten, Stallungen usw.),
 - d) Anschlussverkehr,
 - e) besondere Zwecke, namentlich Gruben- und Hafenverkehr.

Die Betriebseinrichtungen werden eingeteilt in

1. Anlagen für die Zugbildung, u. zw. a) Abstellanlagen für den Personenzugdienst und b) Verschiebeanlagen für den Güterzugdienst,
2. Anlagen für den Lokomotivdienst,
3. Werkstattanlagen,
4. Sonstige Anlagen, z. B. für Beleuchtung der Bahnanlagen und Fahrzeuge, Lagerstellen für Bahnunterhaltungsmaterialien usw

Nach **Lage der Bahnhöfe** zum Bahnnetze sind zu unterscheiden:

1. Endbahnhöfe (Ausgang- und Endpunkt eines regelmäßigen Zugbetriebes),
2. Zwischenbahnhöfe (B. an einer durchgehenden Linie),
3. Anschluss- oder Trennungsbahnhöfe (Abzweigpunkt einer Linie aus einer anderen),
4. Kreuzungsbahnhöfe (B., auf denen zwei oder mehr regelmäßige Zugbetriebe einander überkreuzen),
5. Berührungsbahnhöfe (B., auf denen mehrere Linien nebeneinanderliegen ohne regelmäßigen Zugübergang).

Verbindung von Formen 3 bis 5: Knotenpunktbahnhöfe, mit mehrfachem Anschlusse, auch mit kreuzenden Betriebsrichtungen usf.

Nach der **Grundrissform**, bedingt durch Lage der Hauptgleise gegen die Bahnsteige und das Empfangsgebäude, unterscheidet man namentlich bei den Anlagen für den Personenverkehr

Kopf-, Durchgangs-, Keil-, Insel- und Schleifenform.

1. Kopfform mit stumpfer Endigung der Hauptgleise und mit diesen vorgelagertem oder seitlich angeordnetem Empfangsgebäude ist zweckmäßig als Endstation, wenn eine Weiterführung der Bahn ausgeschlossen ist (die meisten Fernbahnhöfe in Großstädten). Für Zwischen-, Anschluss- und Knotenpunkt-Bahnhöfe Kopfform nur, wenn es anders nicht möglich ist, tief genug in die Städte einzudringen. Hierbei sind meist weiter ausen Verbindungsgleise der verschiedenen Bahnlinien für durchfahrende Güter- und Sonderzüge vorzusehen. Bei Anschlussbahnhöfen Durchgangsform in Verbindung mit Kopfform (Zungenbahnsteige) für daselbst endigende Zweigbahnen häufig.

*) S. Eisenbahnbau der Gegenwart, Abschn. 3. — H. d. I. W. V. Teil, 4. Band.

Größere Stückgut-, Rohgut- und Hafenbahnhöfe werden fast immer in Kopfform gebaut. Auch Abstell- und Verschiebebahnhöfe können in Kopfform angeordnet werden, letztere aber meist nur, wenn örtliche Gründe dazu zwingen.

2. Durchgangsform mit durchgehender Hauptgleisanordnung und meist seitlich liegendem Empfangsgebäude bildet die Regel für Zwischenbahnhöfe. Dieselbe Form mit mehrfachen Zwischenbahnsteigen und schienenfreien Zugängen von dem Empfangsgebäude auch für große Anschluß- und Kreuzungsbahnhöfe. Dsgl. mit quer über die Gleise gestelltem Empfangsgebäude oder Warte- und Diensträume unter den Gleisen und Bahnsteigen (Viaduktform).

3. Keilform geeignet für Anschluß etwa gleichwertiger Bahnen; Empfangsgebäude in dem von den zusammenlaufenden Bahnen gebildeten Zwickel.

4. Inselform eignet sich für Anschluß-, Berührungs- und Kreuzungsbahnhöfe; Empfangsgebäude von den Bahnen vollständig umschlossen. Zugang schienenfrei mittels Unter- oder Ueberführungen zur Giebelseite des Hauptgebäudes wie bei Keilform oder mittels Fußgängertunnel von einer Langseite aus (in diesem Falle oft mit Vorgebäude außer dem Inselgebäude oder beides.*). Auch Inselform in Verbindung mit Kopfgleisanschlüssen zwischen den Durchgangsgleisen.

Inselbahnhöfe werden für „Linienbetrieb“ oder für „Richtungsbetrieb“ eingerichtet. Bei ersterem liegen die zusammengehörigen Gleise einer Strecke auf derselben Seite des Empfangsgebäudes, so daß die Züge dieser Linie an dieser Stelle in beiden Fahrrichtungen an- und abfahren. Beim Richtungsbetrieb sind dagegen die Hauptgleise so geführt, daß für die im Bahnhofs zusammenlaufenden Linien die Züge der einen Fahrrichtung sämtlich auf der einen, die der entgegengesetzten Fahrrichtung sämtlich auf der anderen Seite des Empfangsgebäudes abgefertigt werden.

Liegen bei sich schienenfrei mittels Brücke kreuzenden Bahnen die Bahnsteige an der Kreuzungsstelle, also in verschiedener Höhe, so können sie durch Treppen zu einer Brücken- oder Turmstation verbunden werden.

5. Schleifenform, geeignet als Endstation für Stadtbahnen nur mit Personenverkehr (Zugzusammensetzung unverändert), um Umsetzen der Lokomotiven zu vermeiden.

Allgemeine Bestimmungen über Bahnhofsanlagen sind enthalten in BO. § 6, 12, 13, 14; T V. § 34 bis § 37; Grz. L. § 28 u. 29; A. f. S. 1905.

Unter „Stationen“ sind nach BO. § 6 zu unterscheiden:

1. „Bahnhöfe“ als Stationen mit mindestens einer Weiche für den öffentlichen Verkehr.

2. „Haltepunkte“ als Stationen ohne Weichen für den öffentlichen Verkehr. Zugfolgestellen sind alle Betriebstellen, die eine Blockstrecke begrenzen. Zugfolgestellen außerhalb der Bahnhöfe heißen Blockstellen. Eine solche kann zugleich Haltepunkt sein.

b. Längen-, Richtungs- und Neigungs-Verhältnisse.

Als kleinste Entfernung der Zugfolge- sowie der Ausweichstellen eingleisiger Bahnen kann vom R. E. A. 8 km verlangt werden (BO. § 14.)

Soweit solche Ausweichstellen nicht für den öffentlichen Verkehr nutzbar zu machen sind, ist die Möglichkeit ihrer Herstellung dadurch zu sichern, daß an der

Vergl. u. a. Z. d. B. 1888 S. 111, 123, 349 u. 357; 1894 S. 217. Ferner Z. f. B. 1894 S. 63 u. 195.

betreffenden Stelle der Bahnkörper und die Bettung in einer für die Ausweichgleise ausreichenden Breite angelegt werden (B.O. § 14).

Nutzlänge der Ein-, Ausfahr- und Ueberholungsgleise in Bahnhöfen, begrenzt durch die Sperrzeichen der Weichen (S. 822), u. Umst. auch durch Ausfahrtsignale, ist für die längsten, die anschließenden Strecken befahrenden Züge zu bemessen. Zulässige Achsenzahl eines Zuges s. S. 771. Die durchschnittliche Zuglänge kann für die Wagenachse bei Personenzügen zu 4,5 bis 5 m, bei Güterzügen zu 4,2 bis 4,5 m angenommen werden; dazu eine oder zwei Lokomotiven nebst Tender zu je 15 bis 22 m. Bei Ein- und Ausfahrgeleisen sowie Aufstellgleisen für geschlossene Züge, namentlich auch bei Ausweichstellen eingweisiger Bahnen ist (nach B.O. § 14) für einen (110 Wagenachsen enthaltenden) Militärzug auf 550 m, für einen halben Zug auf 290 m nutzbare Gleislänge zu rechnen.*)

Bahnhöfe mit Kreuzungs- und Ueberholungsgleisen sind in **gerader Linie** oder wenigstens so anzulegen, daß an beiden Enden genügend lange Gerade oder schwache Krümmung für Weichenentwicklung vorhanden ist (T.V. § 36). Im übrigen **Krümmungshalbmesser** der mit voller Geschwindigkeit durchfahrenen Hauptgleise nicht kleiner als auf freier Strecke (s. S. 776); bei Gegenkrümmungen (A. f. S. § 5⁴) ≥ 500 m, womöglich 1000 m. — Zwischengerade der Gegenkrümmungen s. S. 798. Halbmesser von Nebengleisen, wenn sie von Hauptbahnlokomotiven durchfahren werden, abgesehen von Weichenkrümmungen, ≥ 180 m, sonst ≥ 140 m. Wo nur Lokomotiven mit ≤ 3 m und Wagen von $\leq 4,5$ m festem Radstand verkehren, darf der Halbmesser bis auf 100 m herabgehen. (A. f. S. § 5^{3, 4}).

Größte zulässige Neigung der Bahnhofsgleise zwischen den Sperrzeichen der Endweichen nach T.V. § 36 und B.O. § 7⁷ 2,5 vT, erwünscht wagerechte Länge wenigstens auf größte Zuglänge.

Für Lokalbahnen empfiehlt Grz. § 28 ebenfalls 2,5 vT, sofern nicht sämtliche Fahrzeuge der Strecke bremsbar eingerichtet sind (Zahnstangen- und elektrische Bahnen).

Ausrundung der Gefällwechsel vor Bahnhöfen mit ≥ 2000 m Halbmesser (B.O. § 10).

Endweichen dürfen in die stärkere Neigung der anschließenden freien Strecke eingreifen, dabei tunlichst nur so zu legen, daß Talfahrt der Züge gegen die Spitze ausgeschlossen bleibt. Weichen sind in der Ausrundung eines nach oben konvexen Neigungswechsels zu vermeiden; vielmehr zwischen Endpunkt der Abrundung und Weichenspitze alsdann ≥ 6 m Gleislänge erforderlich (A. f. S. § 7⁷).

Folgt dem Bahnhofe in geringer Entfernung ein starkes Gefälle (und umsomehr, wenn der Bahnhof selbst im Gefälle liegt), so muß durch Ablenkungsweichen oder (im Nebengleise) Gleissperren (s. S. 836) ein Ablaufen von Wagen verhütet werden können. Geht dem Bahnhofe ein starkes Gefälle voraus, so sind Ablenkungsweichen mit stumpfem, stark ansteigendem Gleise („Rettungsgleis“) oder Sandweichen (nach Köpcke) zu empfehlen.**)

*) Preufs. Erlafs v. 24./II. 1900 geht bis auf 650 m Länge bei Zügen von 120 Achsen mit vielen Stroh-, Heu- und Holzladungen.

**) Organ 1898 S. 118. Z. d. B. 1908 S. 2.8.

Ausziehgleise, Verteilungsweichen und -gleise auf Verschiebebahnhöfen können auch in stärkeren Neigungen als 2,5 vT liegen (s. S. 841).

c. Anordnung der Gleise und Gleisverbindungen.

Als Grundlage für die Gesamtanordnung der Gleise ist ein Betriebsplan aufzustellen an der Hand der Fahrpläne, der Bestimmungen über die Einteilung und Zusammensetzung der Züge und unter Berücksichtigung der Stärke des Verkehrs. Zum Betriebsplan gehört eine Bahnhofsfahrordnung (B.O. § 53⁹), die für jeden Zug und jede Lokomotivfahrt Vorschriften für die Benutzung der Gleise und für die Fahrwege enthält. Auch ist festzusetzen, wie und wohin Züge oder Wagen abgestellt und wie die Ortsgut-, Eilgut- und Postanlagen bedient werden. Die hieraus sich ergebende Besetzung der Gleise wird zweckmäßig bildlich dargestellt (Gleisbesetzungsplan). — Es sind Hauptgleise die von geschlossenen Zügen im regelmäßigen Betriebe befahrenen Gleise mit Ausnahme der nur von einzeln verkehrenden Lokomotiven befahrenen (B.O. § 6). Hierzu gehören also auch die Personen- und Güterzug-Ueberholungsgleise. Die Hauptgleise der freien Strecke und ihre Fortsetzung durch die Stationen sind durchgehende Hauptgleise. Alle anderen Gleise sind Nebengleise, sie werden ihrer Zweckbestimmung entsprechend als Abstell-, Aufstell-, Lade-, Auszieh-, Verschiebe-, Lokomotiv- usw. -Gleise bezeichnet.

Bei **Zusammenlauf und Kreuzung verschiedener Bahnen** sind die Gleisanlagen so zu gestalten, daßs gleichzeitiger Einlauf von allen Richtungen gefahrlos ist; demnach Ueberkreuzung regelmäßiger Zugrichtungen durch gegenseitige Ueberbrückung der Hauptgleise außerhalb des Bahnhofes, innerhalb des Bahnhofes aber Durchführung eines jeden Einlaufgleises für sich mit besonderer Bahnsteigkante und solche Verbindungen, daßs Uebergang ganzer Züge zwischen den zu verbindenden Richtungen rasch möglich ist. Diese Uebergangsverbindungen (mit Trennungsweichen) sind tunlichst so zu legen, daßs sie erst nach dem Halten durchfahren werden.

Bei **Einfahrt aus eingleisiger Bahn** möglichst die Anordnung der Gleise derart, daßs die Einfahrt (gegen die Spitze) geradlinig und nur die Ausfahrt durch die Weichenkrümmung erfolgt. Für durchfahrende Schnellzüge wird aber im allgemeinen auf eingleisigen Bahnen gerade Durchführung eines Hauptgleises (u. zw. des zweiten Bahnsteiggleises vom Stationsgebäude, wenn der Zwischenbahnsteig in Schienenhöhe überschritten wird) durch beide Endweichen einer Versetzung der Gleise vorgezogen; dieses gerade Gleis wird für Durchfahrt in beiden Bahnrichtungen benutzt, um das rasche Durchfahren von Weichenkurven durch Personenzüge überhaupt zu vermeiden (A. f. S. § 75⁵).

Weichen gegen die Fahrtrichtung, sogen. Spitzweichen (abgesehen von den „Teilungsweichen“ bei eingleisiger Bahn, den „Trennungsweichen“ bei Trennungs- und Kreuzungsbahnhöfen und den „Spaltungsweichen“ zur Ablenkung der Güterzüge aus den Hauptgleisen) sind turlichst und namentlich beim Einlauf der Züge zu vermeiden und in jedem einzelnen Falle als für den sachgemäßen Betrieb unentbehrlich nachzuweisen.

Entgegengerichtete Weichenspitzen erfordern mindestens 6 m Zwischen-gerade (A. f. S. § 76⁵).

Gleichgerichtete Weichen können höchstens bis auf volle Weichenlänge ($W = a + b$, von dem Schienenstosse vor der Weiche bis zum Ende des Herzstückes, s. S. 821) einander genähert werden. Als Regel ist jedoch zu betrachten, daßs auch die dem Herzstücke folgenden Pafs-schienen bis zum nächsten regelmäßigen Stosse des Gleises von

Weichen frei bleiben (also $a + p$). Nur bei Anwendung der Doppelweiche ist gröfsere Annäherung möglich, dann aber auf ein ganz bestimmtes Mafs. Ueber alle hier in Betracht kommenden Mafse s. S. 819 u. f.

Schlebebahnen mit Laufgrube und Drehscheiben sind in Hauptgleisen nur an stumpfen Enden zulässig (s. S. 843 u. 850).

Stumpf endigende Gleise sind durch **Prellböcke** abzuschliessen. An wichtigen Stellen (z. B. für Personengleise in Kopfstationen) Prellböcke mit Bremsrichtungen. Ueberdeckung der Schienen mit 5 bis 10 cm Sand oder Kies auf 20 bis 30 m Länge vor den Prellböcken vielfach ausgeführt, opfert aber eine gleiche nutzbare Länge der Gleise (besonders unter Bahnsteighallen ungünstig), was bei Köpckes Sandweichen vermieden wird. S. Fußnote S. 834.

Gleissperren meist aus Eisen mit Entgleisungsvorrichtung, umstellbar, zur Verhinderung ungewünschten Eintrittes von Wagen aus Nebengleisen.

Umgrenzung des lichten Raumes s. S. 775 u. 776.

Entfernung der Gleismitten auf Bahnhöfen $\geq 4,5$ m, sofern nicht Signal- und Lichtmaste, Stellwerkbuden u. dgl. gröfsere Entfernung notwendig machen. Auf grofsen Bahnhöfen einzelne gröfsere Abstände, 6 m, für gefahrloses Begehen, namentlich an Weichenstraßen. Auf Grenzbahnhöfen für Uebergabegleise 5 m Abstand.

Auf Haltepunkten mit Aufsenbahnsteigen kann Gleisabstand $3,5$ m der freien Strecke beibehalten werden, wenn kein Schutzgitter gegen Gleisüberschreitung zwischen den Gleisen nötig ist; sonst $4,5$ m bei $1,5$ m hohem Zwischengitter.

d. Anlagen für den Personenverkehr.

Empfangsgebäude tunlichst auf der Seite des Hauptverkehrs. Anordnung der Räume so, dafs der Reisende bei Eintritt die Lage der wichtigsten leicht erkennen kann und dafs auf dem Wege zum Fahrkartenschalter, zur Gepäckabfertigung und zu den Warteräumen oder unmittelbar zum Bahnsteige Kreuzung der Verkehrsrichtungen möglichst vermieden wird. Im besonderen Fahrkartenschalter tunlichst rechts von Eingangstür; Gepäckabfertigung mit unmittelbarem Ausgang zu den Bahnsteigen; Warteräume an einer Seite des Eingangsvorraumes oder des Durchganges zu den Bahnsteigen. Schankraum, wenn Bahnhofswirtschaft vorhanden, in unmittelbarer Verbindung mit allen Warteräumen. Dienst-räume für den Betriebs- und Kassendienst im Zusammenhange mit Fahrkarten- und Gepäckraum.

Bahnsteige. 1. Breite (A. f. S. § 8⁸. B. O. § 12 T. V. § 38): Hauptbahnsteig am Empfangsgebäude $\geq 7,5$ m nutzbar breit.

Zwischenbahnsteige mit einseitigem Verkehre ≥ 6 m, bei zweiseitiger Benutzung ≥ 9 m von Mitte bis Mitte Gleis. Die Breite mufs bei schienenfreien Zugängen angemessen vergrößert, kann aber an den Enden der Bahnsteige eingeschränkt werden. Ein Gleisabstand von 9 oder $13,5$ oder 18 m ermöglicht die Anlage von 1, 2 oder 3 Aufstellungsgleisen in der Verlängerung des Bahnsteiges zwischen den Anfahrgleisen. T. V. § 38 läfst $4,5$ m für Nebenbahnen und Grz. § 30 für Lokalbahnen ebenso $4,5$ m zu; dies ist jedoch tunlichst zu vermeiden. — Aufsenbahnsteige sollen $\geq 3,0$ m nutzbare Breite haben. — Gepäck-

bahnsteige auf Stationen mit lebhaftem Verkehr erwünscht; Breite $\geq 7,5$ m zwischen den Gleismitten, hierzu Breite von Hallenstützen.

2. Länge ist nach der größten Länge der Personen- (oder gemischten) Züge zu bestimmen. Bei Hauptbahnen 180 bis 300 m (bis etwa 500 m Hauptbahnsteige), bei Nebenbahnen 100 bis 150 m.

Verschiebung des Zwischenbahnsteiges gegen den Hauptbahnsteig — sofern nicht schienenfreie Verbindung vorhanden — mit der Zugrichtung, so daß das erste Gleis hinter dem am Hauptbahnsteig haltenden Zuge überschritten werden kann (A. f. S. § 8¹²).

3. Höhe (A. f. S. § 87. BO. § 23. TV. § 46) über S.-O. ≥ 21 cm; bis 25 cm, wenn Gleisüberschreitung durch Reisende oder Gepäckkarren selbst findet; 38 cm bei schienenfreiem Zugang und 76 cm dsgl. bei Massenverkehr. — Gepäcksteige 25 cm über S.-O. — Abstand der Bahnsteigkante von Gleismitte ist 1,52 m bis 38 cm Höhe und 1,65 m bei größerer Höhe.

Säulen auf dem Bahnsteig, sowie sonstige feste Gegenstände daselbst (Buden, Schranken, Laternenpfeile usw.) von mehr als 76 cm Höhe über S.-O. sollen bis zu 3,05 hinauf ≥ 3 m im Lichten von der Mitte des Gleises abstehen, für das der Bahnsteig benutzt wird (BO. § 11² und § 23²; TV. § 46).

4. Erwünscht schienenfreie Zugänglichkeit der Bahnsteige durch Tunnel oder Ueberführung. Die Breite der Tunnel und Brücken soll $\geq 2,5$ m betragen und ist auf halbe m abzurunden. Breite der Bahnsteigtreppe $\geq 2,50$, in der Regel $\leq 4,0$ m; soll auf halbe m abgerundet werden (A. f. S. § 8¹²). Zwischen zwei an verschiedenen schienenfrei zugänglichen Gleisen liegenden Bahnsteigen Schutzgitter. Bei Zubringung von Gepäck und Post durch Tunnel oder Ueberführung (u. U. getrennt vom Personenverkehr) Rampen mit flacher Neigung ($\leq 1:10$) zu den Bahnsteigen oder meist Aufzüge. Diese elektrisch oder hydraulisch betrieben; Tragfähigkeit 1000 bis 1500 kg; Plattform etwa 1,7 . 3,0 qm bei 1,5 m Karrenbreite.

5. Befestigung der Oberfläche durch Kies, Kleinpflaster, Asphalt oder Plattenbelag. Ueberdachung bei stärkerem Verkehr erwünscht.

6. Ausrüstung: Bänke mit hohen Schutzwänden gegen Wind, u. U. kleine Warteräume; Schilder mit Stationsnamen, Zugrichtungsweiser, Fahrplatafeln, Uhren u. dgl. — Trinkwasserbrunnen (müssen von den Zügen aus innerhalb der Sperre zugänglich sein).

7. Aborte von den Zughalteplätzen nicht zu entfernt, weithin deutlich bezeichnet, ohne Hinderung durch die Bahnsteigsperre zugänglich (TV. § 50 u. A. f. S. § 8¹⁴).

e. Einrichtungen für den Güterverkehr.

Man unterscheidet in Deutschland Stückgut- und Wagenladungssendungen. Erstere meist Einzelsendungen in verpacktem Zustande (Kisten, Ballen, Fässer u. dgl.), letztere unverpackte Sachen (Rohgüter), besonders Massengüter, wie Kohle, Feldfrüchte usw., die das Ladegewicht der Wagen tunlichst ganz ausnutzen.

Beförderung der Stückgüter im allgemeinen in gedeckten, der Rohgüter vorwiegend in offenen Güterwagen.

Güterschuppen*) für Empfang, Versand und Umladung der Stückgüter. Wo erforderlich, gesondert liegende Schuppen für Eilgut (auf Personenbahnhöfen) und für Zollabfertigung. Für feuergefährliche Gegenstände stets besondere Anlagen in angemessener Entfernung (≥ 10 m) von den Hauptschuppen.

Grundform meist langgestrecktes Rechteck mit Ladegleis an der einen und Zufuhr- und Ladestraße an der anderen Langseite. Langschuppen auch mit innerhalb liegenden Ladegleisen und Ladestraßen außerhalb oder mit innen liegender Ladestraße und Gleisen außerhalb. Ferner Schuppen mit quer liegenden Ladebühnen und an das Zufahrtsgleis durch Drehscheiben angeschlossenen kurzen (für 2 bis 3 Wagen) Ladegleisen und mit säge- oder zahnförmigen Ladebühnen, deren Gleis durch Weichen mit tunlichst steiler Neigung (1 : 7) mit dem Zufahrtsgleis verbunden sind.

Grundfläche der Schuppen so, daß für je 1 t des täglich zu bearbeitenden gewöhnlichen Stückgutes (dazu der gesamte Jahresverkehr an Versand-, Empfang- und Umladegut auf 300 Arbeitstage verteilt angenommen) 10 bis 20 qm Schuppenfläche einschließlich der Plätze für Gänge, Karrbahnen, Wagen und Lademeisterbuden gerechnet wird.

Tiefe der Langschuppen 6 bis 8 m auf kleinen (Schuppen meist an Empfangsgebäude angebaut), bis 12 m auf mittleren und bis 20 m auf großen Bahnhöfen. Länge ≤ 200 m, weil sonst zu unübersichtlich.

Ladestraße 8 bis 12 m breit, wenn zwischen 2 Parallelschuppen 18 bis 20 m.

Umfassungswände Holzfachwerk oder massiv. Tore in etwa 9 m Abstand (= Wagenlänge). Torweite 2,50 m, Höhe 2,80 m. Fenster möglichst hochliegend wegen Lagerung der Güter an den Wänden. Dächer in der Regel mit hölzernen Dachbindern und Mittelstützen (diese erleichtern Einteilung und Bezeichnung der Lagerstätten der Güter) und flacher Papp- oder Holzzementendeckung. Ueberkragung des Daches so, daß es etwa 0,30 m über Mitte der Ladegleise hinausreicht und an Straßenseite das Landfuhrwerk in ganzer Breite schützt, also noch 1,8 bis 2,5 m vor Kante Ladesteig vorsteht.

Ladesteige (und Fußboden) $\leq 1,10$ m über S.-O. (BO. § 25, TV. § 53) Abstand von Gleismitte 1,67 m (vgl. Umgrenzung des lichten Raumes, S. 775). Ladestraße entsprechend dem ortsüblichen Fuhrwerk 0,8 bis 1,0 m unter Fußboden. Steigbreite an Straßenseite 1,0 bis 1,5 m, an Gleisseite wegen Längsförderung der Güter 1,5 bis 2,0 m. Fußbodenbelag hölzerne Bohlen, Zementestrich oder Stampfasphalt. Tragfähigkeit für 800 bis 1000 kg Nutzlast auf 1 qm.

Ausstattung mit Dezimalwagen, Lademeisterbuden, Verschlägen für überzählige Güter u. a.

Besondere **Umladeeinrichtungen** für die Umladung von Stückgütern zur Vervollständigung von Ladungen, bestehend in Bühnen mit und ohne Ueberdachung oder Schuppen mit beiderseits liegenden Gleisen auf Verschiebe- und Güterbahnhöfen (TV. § 53). Auf letzteren sind sie im Zusammenhange mit den Ortsgüterschuppen anzuordnen, weil die

*) Grundsätze und Bestimmungen für das Entwerfen und den Bau von Güterschuppen (in Preußen), E. V. B. 1901 S. 244. — H. d. I.-V. V. Teil, 4. Band. — Eisenbahnbau der Gegenwart, Abschn. 3. — Z. f. B. 1910 S. 265.

Trennung des Schuppengeschäftes vom Umladen (oft bei einem und demselben Wagen) unbequem ist. Besser dafür zwischen dem ersten und zweiten Schuppengleise ein Zwischenladesteig (u. Umst. überdeckt) bei 6 bis 7 m Gleisabstand (zur Not genügen 4,5 bis 5 m). Diese Einrichtung ist auch sonst zweckmäßig, weil sie in Zeiten starken Schuppenverkehrs das „Durchladen“ zwischen dem Schuppen und dem zweiten Gleise (durch die Wagen des ersten Gleises hindurch) erleichtert.

Laderampen für Vieh, Fahrzeuge usw., an gut zugänglichen Nebengleisen zum Be- und Entladen der Eisenbahnwagen von der Längs- und Stirnseite einzurichten. Neigung der Auffahrt $\leq 1:12$. Höhe der Stirnseite zum Laden über die Puffer 1,235 m über S.-O. Höhe der Längsseite für Militärzwecke $\leq 1,0$ m, sonst $\leq 1,10$ m über S.-O. (B.O. § 24); bei Nebenbahnen auch 1,0 m. Wagerechter Teil vor Kopfende des Gleises für lange Möbelwagen 12 bis 15 m lang; dann tunlichst in gleicher Längsrichtung auch die Auffahrt, u. zw. mit 1:12 bis 1:18 Neigung. Bei Seitenverladung für Militärzüge soll die Rampe so liegen (oder doch rasche Herstellung einer solchen Anordnung gestatten), daß halbe Züge von 290 m Länge ohne Rückbewegung und ohne Sperrung der Haupt- und Kreuzungsgleise daran vorbeigeführt werden können (B.O. § 24 und 14.) — **Bewegliche** Rampen für Pferde und Großvieh (Steigung $\leq 1:4$) auf kleinen Stationen.

Einrichtungen für **Rohgutverladung** bestehen aus einem oder mehreren (Freilade-)Gleisen mit nebenliegenden befestigten Ladestraßen. Nutzbare Länge der Ladegleise etwa bis 200 m. Längere Ladegleise sind durch Weichen in einzelne Abschnitte zu zerlegen und womöglich durch besondere Zufuhrgleise anzuknüpfen (A. f. S. § 43). Breite einseitiger Ladestraßen $\geq 7,5$ m von Gleismitte, Abstand der (parallelen) Ladegleise bei zweiseitig benutzten Ladestraßen 16 bis 20 m, bei Querstellung des Landfuhrwerks auch mehr. Bei langen Ladegleisen in Entfernungen von 150 bis 200 m gepflasterte Ueberfahrtstellen von etwa 6 m Breite zur Verbindung der Ladestreifen. Auch sägeförmige Anordnung der Ladegleise mit 30 bis 40 m Nutzlänge, die an ein Zufuhrgleis beiderseits durch Doppelweichen angeschlossen werden, oder sog. rheinische Form mit Sterndrehscheiben in 40 bis 60 m Entfernung und kurzen Strahlengleisen 20 bis 50 m lang, unter 60°. Wendeplätze an Enden der Ladestraßen erhalten ≥ 12 m äußeren Durchmesser. — Außerdem besondere Anlagen als Rutschen oder Trichter, zur Verladung rolliger oder stückiger Güter (Kohlen, Erze usw.), Langholzrampen usw. (s. II. Bd. Abschn. Fördermittel).

Lademafse für sperrige Gegenstände auf offenen Wagen zur Prüfung etwaiger Ueberschreitungen des Ladeprofiles (B.O. § 25; T.V. § 54; Grz. § 37).

Gleiswagen (Brückenwagen) (T.V. § 57). S. S. 869.

Ladekrane (feste Brücken- oder Drehkrane etwa bis 15 t, fahrbare Drehkrane bis 10 t Tragkraft) für schwere Lasten. (Näheres s. II. Bd. 2. Abschn., II. Hebemaschinen.)

Abfertigungsräume für den mit dem Frachtverkehr zusammenhängenden Bureau- und Kassendienst.

f. Abstellanlagen.*)

Die **Abstellanlagen** auf Personenbahnhöfen umfassen bei voller Ausgestaltung

1. Aufstellgleise für angekommene und zur Abfahrt bereitgestellte Waggzüge. Neben den Gleisen Rohrleitungen für Wasser, Druckluft (innere Wagenreinigung), Gas und Dampf mit Anschlußstutzen für Schläuche. U. Umst. auch besondere Wagenreinigungsschuppen (s. unten). Länge der Gleise \geq Zuglänge.

2. Ordnungsgleise (50 bis 60 m lang) zum Umordnen der Waggzüge. Nicht immer vorhanden, alsdann Ordnen in den „Spitzen“ der Gleise zu 1.

3. Aufstellgleise für Verstärkungswagen, dsgl. für umzusetzende Kurswagen (auf Zwischenstationen, u. Umst. mit Reisenden besetzt; „Wartgleise“, auch für Wechsel- und Vorspannlokomotiven). Meist kurze Stumpfgleise nahe und an den Bahnsteigen.

4. Dsgl. für Bereitschaftswagen zur außergewöhnlichen Verstärkung der Züge oder zum Ersatz schadhafter oder untersuchungspflichtiger Wagen. Auch für Hof- und Salonwagen.

5. Dsgl. für Vorratswagen zu Sonderzügen in verkehrsstarken Zeiten.

6. Uebergabegleise zum Austausch von Wagen mit Ortsgut- oder Verschiebebahnhof, falls erforderlich, und

7. Verkehrsgleise für Lokomotiven und Verschiebefahrten und Ausziehgleise.

Mit diesen Anlagen sind die Schuppen, Kohlenbansen usw. der Personenzuglokomotiven zu vereinigen oder zu verbinden. Häufig werden ihnen die Anlagen für Post- und Eilgutverkehr angegliedert.

Lage der Abstellanlagen so, daß bei Fahrten von und zu den Bahnsteiggleisen Fahrwege der Züge möglichst wenig benutzt oder gekreuzt werden.

Zu den Abstellanlagen gehören:

die Betriebswerkstatt für kleinere Ausbesserungen an Lokomotiven, meist nahe den Schuppen. Hierbei auch Aufstellgleis des „Hülfszuges“ (Geräte-, Arzt- und Mannschaftswagen) für Unfälle.

die Wagenwerkmeisterei für Untersuchung und kleinere Ausbesserungen an Wagen.

Waggschuppen s. S. 867.

g. Verschiebeanlagen.**)

Der **Verschiebedienst** umfaßt auf den zwischen den Verschiebebahnhöfen gelegenen Stationen im allgemeinen nur das Aus- und Einsetzen der für die betreffende Station bestimmten oder hier abgefertigten Wagen, sowie ihre Zuführung und Abholung zu oder von den einzelnen Ladestellen der Station, auf Verschiebebahnhöfen dagegen das Auflösen und Zusammenstellen ganzer Güterzüge. Verschiebebahnhöfe erforderlich bei End-, größeren Trennungs- und Kreuzungs- sowie Knotenpunktstationen. Wegen ihres großen Umfangs meist gesondert von den Anlagen für Personen- und Güterladeverkehr.

*) Näheres s. Oder und Blum, Abstellbahnhöfe. Eisenbahnbau der Gegenwart, Abschn. 3. Organ 1910 S. 3.

**) Näheres s. H. d. I. W., V. Teil, Bd. 4. — Eisenbahnbau der Gegenwart, Abschn. 3.

1. Das **Ab- und Ansetzen von Wagen** der Güterzüge auf Zwischenstationen wird in der Regel von der Zuglokomotive besorgt. Die Auszieh- und Nebengleise sind dazu derart anzuordnen, daß die Zuglokomotive die abzusetzenden Wagen, die möglichst an der Spitze des Zuges stehen sollen, rückwärts abstossen und die abgehenden dem Vorder teil des Zuges anfügen kann. Das Zubringen und Abholen zu und von den Ladestellen bewirkt auf kleineren Stationen ebenfalls die Zuglokomotive, auf größeren eine besondere Lokomotive.

2. Verfahren auf Verschiebebahnhöfen.

a) **Behandlung der Züge.** Die Wagen der in den Einfahrgleisen angekommenen Güterzüge werden durch eine Bahnhofslokomotive je nach den Verkehrszielen auf verschiedene Richtungsgleise gebracht, darauf die in einem Richtungsgleis angesammelten Wagen in den „Stations- oder Gruppengleisen“ nach Stationen (Nahgüterzüge) oder Gruppen (Durchgangsgüterzüge) geordnet und in den Ausfahrgleisen zu Zügen vereinigt.

b) **Anordnung der Gleise.** Anlage der Verschiebebahnhöfe überwiegend in Durchgangsform, manchmal auch in Kopfform (s. S. 831). Anordnung der Gleise entweder hinter- oder nebeneinander. Im ersteren Falle kann durch Einlegung von Ablaufbergen oder Anlage der Gleise im durchgehenden Gefälle (s. unter d) das Verschieben der Wagen stets in derselben Längsrichtung ohne Rückwärtsbewegung bewirkt werden, im anderen Falle ist für die seitlich angeordnete Gleisgruppe besonderes Auszieh- (Zerlegungs-)gleis erforderlich.*)

Bahnhöfe in Durchgangsform werden von den einmündenden Bahnlinien entweder sämtlich in einer Richtung oder aber in zwei einander entgegengesetzten Richtungen durchlaufen. Im letzten Fall entstehen im Bahnhöfe zwei vollständige, nebeneinander liegende Gleissysteme. Solche Anlagen sind zweiseitig, die ersteren einseitig entwickelt.

Erforderlich sind ferner: Durchlaufgleise für Lokomotiven und Züge (z. B. Ferngüterzüge), Aufstellgleise für Packwagen und Gleise für Umkehrwagen. Letztere Gleise nur bei Durchgangsform, sie liegen bei zweiseitiger Entwicklung zwischen beiden Gleissystemen.

c) **Zahl und Länge der Gleise.** Im allgemeinen für jede Linie mindestens ein Ein- und ein Ausfahrgleis für jede der beiden Fahr richtungen. — Länge \geq Zuglänge.

Zahl der Richtungsgleise bedingt durch Zahl der Verkehrs richtungen; Länge \geq Zuglänge.

Stations- und Gruppengleise nach Größtzahl der gleichzeitig zu bildenden Gruppen zu bemessen. Einschränkung der Zahl angängig, wenn die Gleise anstatt in der meist üblichen Büschelform (für jede Station oder Gruppe ein besonderes Gleis) in Harfen- oder Rostform angeordnet werden. Hierbei mit Hülfe zweier aufeinander folgenden Gleisgruppen mit n - bzw. n_1 -Gleisen Bildung von $n \cdot n_1$ -Wagengruppen möglich (näheres s. H. d. I. W., V. Teil, Bd. 4). — Länge sehr verschieden, etwa ≥ 100 m.

*) Vgl. Oder, Betriebskosten der Verschiebebahnhöfe, im Archiv 1904 und H. d. I. W., V. Teil, Bd. 4.

d) Verschiebearten.

α) Abstoßen: Wiederholtes Vorziehen und Zurückstoßen durch eine Lokomotive; Verfahren erfordert viel nutzlose Wege.

β) Mitbenutzung der Schwerkraft durch Einlegung von Neigungen („Ablaufberge“ oder „Eselsrücken“) da, wo die Gruppengleise sich entwickeln, so daß die Lokomotive unter stetigem Vordrücken die Wagen oder Wagengruppen über den Rücken hinüber zum Ablauf bringen kann. Hierbei an Weglänge und Kraftverbrauch sehr gespart.

γ) Schwerkraft allein, indem der ganze Bahnhof oder wenigstens die Eintah- oder Zerlegungsgleise in durchgehendes Gefälle gelegt werden.

δ) In Amerika auch üblich „Abstoßen mit dem Stofsbaum“, wobei die Lokomotive von einem Parallelgleise aus mittels eines an ihr befestigten, etwa 3 m langen Baumes die Wagen in die Gruppengleise abstößt.

e) Hilfsmittel für den Verschiebedienst. Zur Verlangsamung des Laufes der Wagen werden — abgesehen von den Wagenbremsen — benutzt sog. Verschiebebremsen an den Wagen (England), Hemmschuhe u. Umst. in Verbindung mit sog. Gleisbremsen, Bremsknüppel (nur bei langsamer Bewegung, Verwendung namentlich bei durchgehender Neigung der Gleise zum Bremsen der für den Ablauf zu entkuppelnden Wagen) und Bremsschlitten.

Zum Feststellen von Wagen dienen Radvorleger und Klemmkeile.

Zur Verständigung zwischen dem das Verschieben leitenden Beamten und den Weichenstellern, Hemmschuhlegern usw. sind hörbare (Pfeife, Horn, Fernsprecher, Klingeln) oder sichtbare (mechanisch oder elektrisch betätigte Gleisanzeiger) Zeichen erforderlich.

h. Drehscheiben.

a. Geometrische Anordnung der Drehscheibengleise.

1. Strahlengleise. (Abb. 79.) Durchschnitten der Schienen, also Herzstücke, deren mathematische Spitzen im Abstände q_1, q_2, q_3 vom Mittelpunkte liegen, entstehen, sobald der Grubenhalmmesser $\varrho = \frac{1}{2} D$ unter den folgenden Grenzen liegt.

Einfache Durchschneidung:

$$q_1 = \frac{s}{2 \sin \frac{1}{2} \delta}; \text{ sehr nahe } q_1 = \frac{s}{\delta};$$

Zweifache Durchschneidung:

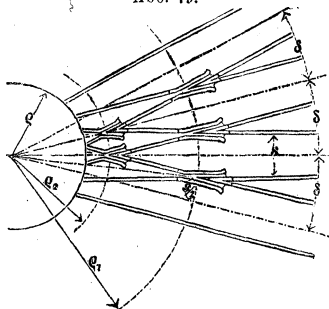
$$q_2 = \frac{s}{2 \sin \delta}; \text{ sehr nahe } q_2 = \frac{s}{2 \delta};$$

Dreifache Durchschneidung:

$$q_3 = \frac{s}{2 \sin \frac{3}{2} \delta}; \text{ sehr nahe } q_3 = \frac{s}{3 \delta};$$

daher $\varrho = \frac{1}{2} D$ kaum unter letzterer Grenze, sofern mehr als drei Gleise einmünden.

Abb. 79.



Hierbei ist ein gleicher Einlaufwinkel δ vorausgesetzt; s ist die Spurweite = 1,435 m. Damit die Schienenköpfe am Umfange noch volle Stärke behalten, ist besser für die Grenzwerte $S = s + 0,120$ m (zwei Schienenkopfbreiten mehr) oder 1,555 m zu rechnen. Bei gegebenem ϱ finden sich alsdann die Grenzwerte für δ durch Umkehrung vorstehender Gleichungen. Hiernach ist die nachstehende Tafel für die kleinsten Winkel δ und die zugehörigen Abstände der mathematischen Herzstückspitzen vom Mittelpunkt bei einigen der üblichsten Durchmessergrößen D berechnet. Herzstückwinkel bei einfacher Schienendurchschneidung: δ , bei zweifacher: δ und 2δ .

Drehscheiben mit Strahlengleisen.

Nr.	Gruben-Durchmesser $D = 2\varrho$ m	Bezeichnung der Größen	Keine	Einfache	Zweifache
			Schienendurchschneidung		
1	20,06	$\sphericalangle \delta =$	8° 53' 30"	4° 26' 45"	2° 57' 50"
		arc $\delta =$	0,155 289	0,077 594	0,051 734
		tg $\delta =$	0,156 447	0,077 751	0,051 776
		$\varrho_1 =$	.	20,045	30,064
		$\varrho_2 =$	.	.	15,037
2	16,2	$\sphericalangle \delta =$	11° 0' 59"	5° 30' 29"	3° 40' 20"
		arc $\delta =$	0,192 270	0,096 135	0,064 090
		tg $\delta =$	0,194 677	0,096 431	0,064 180
		$\varrho_1 =$	.	14,933	22,393
		$\varrho_2 =$	.	.	11,202
3	7,5	$\sphericalangle \delta =$	23° 55' 56"	11° 57' 58"	7° 58' 39"
		arc $\delta =$	0,417 696	0,208 848	0,139 232
		tg $\delta =$	0,443 812	0,211 938	0,140 140
		$\varrho_1 =$	.	6,884	10,315
		$\varrho_2 =$	.	.	5,170
4	4,4	$\sphericalangle \delta =$	41° 23' 31"	20° 41' 45"	13° 47' 50"
		arc $\delta =$	0,722 426	0,361 213	0,240 809
		tg $\delta =$	0,881 369	0,377 785	0,245 572
		$\varrho_1 =$	.	3,994	5,974
		$\varrho_2 =$	.	.	3,009

2. Parallelgleise, nach der Scheibe zusammenlaufend.

Grundregel: Jedes Gleis muß mindestens am Umfange die Richtung auf den Mittelpunkt erreichen, besser aber 3 bis 6 m vorher schon geradlinig sein. Bei Schienendurchschneidungen müssen die Herzstücke noch ganz in gerader Linie liegen.

Hiernach vom Mittelpunkte ab gemessen an gerader Länge nötig:

$$g \geq \frac{s_1}{\delta}, \text{ oder auch } g \geq \varrho + 3 \text{ m};$$

für die Länge g ist $s_1 = 1,6$ m (bis Aufsenkante Schienenfufs) zu setzen. Es genügt hier wegen Kleinheit der Winkel der Ersatz von \sin und \lg durch \arcsin ; damit erhält man folgende Näherungsformeln:

Bei drei symmetrischen Gleisen (Abb. 80).

d bezeichnet den Abstand der Sperrzeichen von der Scheibenachse.

$$l = \frac{w}{\delta} + \frac{R\delta}{2}; \quad d = l - \sqrt{2R(w - 3,5) - (w - 3,5)^2};$$

$$d \geq \sqrt{2 \frac{w - s_1}{R}} \quad (\text{anderenfalls Gegenkrümmung nötig}).$$

Hierbei ist der Gleisabstand w in der Regel 4,5 m. δ entspricht hier (und im folgenden) dem \arcsin . Man wählt den Halbmesser $R \geq 180$ m, für Wagengleise R bis 150 m herab; dem entspricht $\lg \delta \geq 1/6$ bzw. $\lg \delta \geq 1/5$.

Bei fünf symmetrischen Gleisen wird $\delta \geq \sqrt{\frac{w - s_1}{R_1}}$, wo R_1 sich auf die äusseren, am schärfsten gekrümmten Gleise bezieht.

Abb. 80.

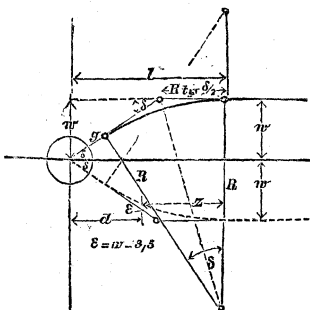
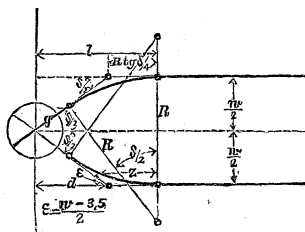


Abb. 81.



Bei zwei symmetrischen Gleisen
ohne Mittelstrang (Abb. 81):

$$l = \frac{w}{\delta} + \frac{R\delta}{4} \quad \text{und}$$

$$d = l - \sqrt{2R\epsilon - \epsilon^2};$$

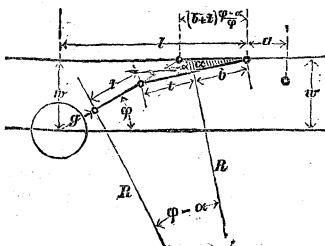
$$\delta \geq 2 \sqrt{\frac{w - s_1}{R}} \quad \text{und}$$

$$\epsilon = \frac{w - 3,5}{2}.$$

Für $w = 4,5$ m und $R = 180$ und 150 m ist $\delta \geq 0,254$ bzw. $\geq 0,278$, also zweckmäßig $\lg \delta = 1:4$ bzw. $= 1:3,6$.

Bei vier symmetrischen Gleisen ist $\delta \geq \sqrt{\frac{w - s_1}{4/3 R_1}}$.

Abb. 82.



3. Drehscheibe und Weiche (Abb. 82). Grenzwert für φ ist

$$\varphi \leq \sqrt{\frac{2(w - s_1 - b\alpha)}{R} + \alpha^2}.$$

Bei $w = 4,5$ m, $R = 180$ und 150 m und $\alpha = 0,1$ ist

$\varphi \leq 0,1563$ bzw. $\leq 0,165$; $g = 5,04$ bzw. $= 9,7$ m.

b) Bau der Drehscheiben.*)

1. **Größe und Anordnung.** Scheibendurchmesser d für Lokomotiven mit Tender auf Hauptbahnen zweckmäßig so groß, daß der gemeinsame Schwerpunkt von Lokomotive und Tender**) bei Drehung etwa über dem Mittelzapfen liegen kann. In Rücksicht auf die Spürkränze der Räder und weil ein genaues Auffahren zeitraubend, ist die Fahrbahnlänge 800 bis 1000 mm größer als der Radstand zu wählen (vgl. die Wagenradstände B.O. § 30 und T.V. § 125, s. auch Abschn. Wagen, S. 925 u. f.). Der Grubendurchmesser D muß wegen der Ausdehnung der Scheibe infolge von Temperaturänderungen und zur Ausgleichung von Ungenauigkeiten im Zusammenbau um einen Betrag t größer als d ausgeführt werden. Bei Normalspur beträgt:

für Achsen . . .	$d = 2$ bis 3 m	$t = 20$ bis 30 mm
„ Wagen . . .	$d = 3,5$ „ 10 „	$t = 30$ „ 40 „
„ Lokomotiven .	$d = 12,5$ „ 22 „	$t = 40$ „ 60 „

Nach B.O. § 20 $d \geq 16$ m sofern die Drehscheiben bei Beförderung von Militärzügen benutzt werden müssen. T.V. § 43 empfiehlt $d \geq 20$ m für Hauptbahnen. Ueblich $d = 12,5$ bis 22 m; bei der preuß. Staatsbahn als Norm $d = 16,14$ und 20,00 m. In Hauptgleisen sind Drehscheiben nach T.V. § 43 und B.O. § 20 nur an stumpfen Enden zulässig.

2. **Baustoff.** Kleine Drehscheiben bis etwa $d = 2$ m für geringe Belastungen aus Gußeisen in einem Stücke oder zusammengesetzt. Bei mittleren und größeren Drehscheiben bestehen Haupt- und Querträger stets aus Flußeisen.

3. **Bauarten.** Für Lokomotiven und Personenwagen werden in der Regel **Teilscheiben**, d. h. solche verwandt, die nur zwischen den das Gleis tragenden Hauptträgern und auf schmalen Laufstegen außerhalb abgedeckt sind. Eingleisige Scheiben als **Vollscheiben**, bei denen die ganze Grube abgedeckt ist, sind wegen der höheren Anlagekosten nur in besonderen Fällen anzulegen, z. B. in Lokomotivschuppen, auf verkehrsreichen Plätzen oder in Gegenden mit häufigem starken Schneefall.

Für Achsen und kurze Güterwagen sind meist **Kreuzdrehscheiben** mit zwei rechtwinklig oder **Sternscheiben** mit unter 60° sich schneidenden Gleisen üblich; diese Scheiben werden stets als Vollscheiben gebaut.

Ungewöhnliche Anordnungen sind: Zweigleisige Drehscheiben bei kurzen Längen der Zustellungsgleise, wodurch längere Weichenstränge vermieden werden; Segment-Drehscheiben oder Drehweichen bei Raummangel auf der einen Seite des Hauptzufuhrgleises;

*) S. H. d. I. W., 5. Teil, Bd. III. — Musterzeichnungen der preuß. Staatsbahnen 1890 1894, 1906 u. 1909.

**) Hierbei ist die Veränderlichkeit des Schwerpunktes je nach dem vorhandenen Wasserinhalte von Tender und Kessel zu berücksichtigen.

der Drehpunkt, zweckmäßig als Spurkugellager gebaut, liegt dann an einem Ende der Scheibe.*)

Drehscheiben werden im allgemeinen versenkt ausgeführt, wobei die Grubentiefe bis 2,25 m beträgt. Halbversenkte Drehscheiben, bei denen die als Brückenträger — vollwandig oder Fachwerk — ausgebildeten Hauptträger außerhalb des lichten Raumes liegen müssen, sind wesentlich schwerer als versenkte Drehscheiben und werden nur verwandt, wenn dies aus besonderen Gründen z. B. wegen eines hohen Grundwasserstandes erforderlich ist.

Es empfiehlt sich bei Teilscheiben mit mehreren an die Scheibe anschließenden Gleisen, ein auf der Laufschiene mitlaufendes Schutzgitter anzubringen, das nur an den Enden offen ist.**)

Nach Art der Unterstützung und Führung während der Drehung sind drei Bauarten zu unterscheiden:

- I. Mittelzapfen allein führend und tragend;
- II. Mittelzapfen nur führend oder ganz fehlend, Umfang alleintragend und gegebenenfalls gleichzeitig führend;
- III. Mittelzapfen tragend und führend oder nur tragend, Umfang führend und mittragend oder nur mittragend.

Bei II und III ist ferner zu unterscheiden:

- a) Räder an der Scheibe gelagert;
- b) Räder am Fundamente oder Umfangsringe gelagert;
- c) Umlaufender Räder(Rollen-)kranz oder Kugeln zwischen Scheibe und Fundament laufend, ergibt nur rollende Reibung.

Scheiben nach Bauart I besitzen den kleinsten Bewegungswiderstand, erfordern jedoch selbst bei Ausführung als Krandrehscheiben ausrückbare Hilfsstützen für das Auf- und Abfahren der Fahrzeuge, werden daher nur selten ausgeführt.

Bauart II hat großen Bewegungswiderstand und wird nur für untergeordnete Zwecke gebaut, z. B. als Kugeldrehscheiben nach Weikum.

Bei Bauart III ist Nachstellbarkeit der Zapfenhöhe durch Schrauben oder Keile nötig, weil davon die Belastung der Umfangsstützung abhängt. Die Mittelzapfenüberhöhung pflegt so eingestellt zu werden, daß ungefähr 75 bis 80 vH der Gesamtlast auf den Mittelzapfen entfällt. Die Anordnung IIIa ist die für größere Ausführungen üblichste. Die Anordnung IIIc häufig bei Wagen-Vollscheiben etwa bis 75 mm Dmr. mit einer Rollenzahl $n = 4 + 2D$ (D in cm). Dabei sind die Rollen (250 bis 300 mm Dmr., 70 bis 100 mm breit) in einem besonderen Rahmen oder mittels Radialstangen so gelagert, daß sie sich um den Drehzapfen im Kreise bewegen müssen.

Bau der **Lokomotiv-Drehscheiben** (IIIa) z. B. folgender Art: Zwei Hauptträger (Blechträger: Blechwand 10 bis 15 mm stark, auf $\frac{1}{5}$ bis $\frac{2}{5}$ der Länge $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{10} d$ hoch, an den Enden etwa 450 bis 600 mm), in der Mitte durch zwei 15 mm starke Querträger in 500 bis 675 mm Abstand verbunden; diese sind im mittleren Teile durch 13 mm dicke Blechplatten verstärkt und durch 26 Schrauben von 26 mm Dmr. an einer gußeisernen Führungshülse befestigt, die mittels zweier Keile an zwei

*) Beispiel: Berlin Lehrter Hauptbahnhof.

**) O. f. F. d. E. 1910 S. 418; s. daselbst auch über Anwendung von Drehgestellen bei Drehscheiben.

90 bis 105 mm starken Tragschrauben hängt. Diese beiden übertragen die Last auf ein gußstählernes Druckhaupt, das mit dem Spurzapfen (Stahl) auf der stählernen Spurplatte des gußeisernen Königstuhles ruht. Zwischen den Hauptträgern Querverbindungen in 1,2 bis 1,5 m Entfernung und außen Kragstücke aus Winkeleisen von etwa 1 m Ausladung für die Laufstege, die mit Schutzgittern zu versehen sind. An den Enden der Hauptträger verlängerte, im Grundriß gebogene Querträger zur Aufnahme des äußeren Auflagers der Achsen der vier Laufräder. Diese Achsen, aus Flußstahl, nach dem Scheiben-Mittelpunkte gerichtet, etwa 1,4 m lang von Mitte zu Mitte Auflagers. Räder für Lokomotiv-Drehscheiben 0,6 bis 1,0 m Dmr., 120 bis 130 mm breit, zylindrisch. Abdeckung der Scheibe mit Riffel- oder Waffelflech (8 mm stark), verschraubt mit den Trägern, ersetzt zugleich den Diagonalverband. Die Fahrsschienen sind durch Klemmplatten und Schrauben auf den Hauptträgern befestigt.

Räder für Wagen-Drehscheiben 0,4 bis 0,8 m Dmr., 70 bis 100 mm breit, zylindrisch oder etwas kegelförmig, aber nicht gerundet.

4. Drehvorrichtung. Bei kleinen Scheiben entbehrlich; bei mittleren und größeren Drehbäume, 2,5 m lang, 0,15 m Dmr., die in den mit der Scheibe fest verbundenen schrägen Baumhülsen stecken und an ihrem freien Ende rd. 1,2 m über S.-O. liegen. (Druck eines Arbeiters 25 bis 30 kg.) Bei Lokomotiv-Drehscheiben Handkurbel-Winde, die auf ein oder zwei — genügend belastete — Laufräder, oder besser auf einen mit der Grubeneinfassung fest verbundenen Zahnkranz wirkt.

Bei häufiger Benutzung, wobei Handwinde als Reserve vorzusehen ist, Antrieb durch Gas- oder Dampfmaschine (stehender Röhrenkessel von 2 qm Heizfläche) oder mittels einer den Mittelzapfen umgebenden Ketten- oder Seilscheibe durch Druckwasser,*) auch Antrieb durch Druckluft,**) gegenwärtig meist durch Elektromotor. Bauarten***) dabei: 1) Motor, auf der Scheibe federnd aufgestellt, überträgt seine Bewegung mittels Vorgelege auf einen mit der Umfassung oder dem Fundament verbundenen Zahnkranz. 2) Motor nebst Vorgelege auf einem Vorspannwagen oder Schlepper, dessen breites Triebrad auf der Schiene der Drehscheibe läuft (Reibungsbetrieb $\mu = \frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$). Schlepper,

durch Gelenk mit einem Träger der Scheibe verbunden, zieht oder schiebt sie. Scheibe muß dann so hoch gestellt werden, daß sie im belasteten Zustande noch schwebt, da das erforderliche Adhäsionsgewicht sonst praktisch schwer ausführbar. 3) Bei Wagendrehscheiben bis zu etwa 7 m Dmr. wird Motor und Triebwerk, da es auf der Scheibe meist an Platz mangelt, außerhalb des Drehscheibenrandes in eine gemauerte Grube eingebaut; Antrieb erfolgt durch Eingriff eines Zahnrades in dem am Umfang der Scheibe befindlichen Zahnkranz. 4) Motor und Triebwerk auch in Spillbauart in weiterer Entfernung von der Scheibe aufgestellt. Antrieb mittels Drahtseils, das über lose Lenkrollen geführt an den Puffern oder bei leerer Drehscheibe an der Baumhülse befestigt wird. Diese Bauart besonders wirtschaftlich, da sie auch zum Rangieren benutzt

*) O. f. F. 1890 S. 49.

**) O. f. F. 1905 S. 60.

***) Gl. A. 1902 S. 184. — O. f. F. 1904 S. 127.

werden kann. — Stromzuführung oberirdisch über der Scheibenmitte mittels drehbarer Kontaktvorrichtung oder unterirdisch durch isolierte Schleifringe am Königstuhl mit entsprechenden Schleifschuhen. Drehrichtungsänderung durch Wendeanlasser (bei Anordnung 1 u. 2 auf der Scheibe). Umfangsgeschwindigkeit 0,5 bis 1 m/sk. Anlasser auf der Scheibe zweckmäßig mit Feststellvorrichtung (s. 5) gekuppelt, damit unsachgemäße Bedienung unmöglich wird.

5. **Feststellvorrichtung.** Bei kleineren Drehscheiben sichert an jedem Ende der Scheibe ein Klinkhaken, bei größeren Drehscheiben in der Gleismitte je ein von der Scheibe aus durch Hebel oder Handrad meist wagerecht bewegter Schubriegel die Scheibe gegen Bewegung beim Auf- und Abfahren der Fahrzeuge, u. zw. durch Eingreifen in die Umfassung der Grube. Mit dem Schubriegel kann ein **Signal** auf oder vor der Scheibe verbunden sein, auch wohl **Vorlegeklötze** und **Klappschuhe** (Gleissperren), die für die Scheibe und zugehörigen Gleise erst mit Eintritt der Riegel in die Verschlussbüchsen freie Fahrt geben. — **Entlastungsvorrichtungen** (Keile, Exzenter, Kniehebel) an den Enden der Scheiben, um das Schlagen (beim Auf- und Abfahren der Fahrzeuge) bei Bauart I und III, namentlich bei größeren Scheiben zu vermeiden, haben sich nicht bewährt. Vorzuziehen ist, die Laufräder höchstens mit einem Spielraum von 5 mm bei unbelasteter Scheibe einzustellen; die Hauptträger müssen dann entsprechend kräftig ausgeführt sein, damit in Rücksicht auf den Bewegungswiderstand eine Lastverteilung gemäß den Angaben unter 3 erzielt wird.

6. Bewegungswiderstand. Bezeichnet

G das Gewicht des auf der Scheibe befindlichen Fahrzeuges in kg,

G_0 das Eigengewicht des Scheibenkörpers in kg,

W den Widerstand am Umfange des Laufradkranzes in kg,

W_u „ „ „ „ der Scheibe in kg,

R den Halbmesser der Drehscheibe in cm,

R_1 „ „ „ Laufräder in cm,

R_2 „ „ „ Umfangschiene in cm,

r_1 „ „ „ des (größeren) Zapfens der Laufradachsen in cm,

r_2 „ „ „ Spurzapfens in cm,

μ_1 die Reibungszahl für die Laufradzapfen,

μ_2 „ „ „ den Spurzapfen,

f „ „ der rollenden Bewegung in cm,

μ „ „ „ gleitenden Bewegung zwischen Laufrad und

Schiene, so ist rechnermäßig:

$$W_n = \frac{2}{3} \mu_2 \frac{r}{R} (G + G_0) \text{ für Bauart I (Bauarten s. S. 843);}$$

$$W = \frac{G + G_0}{R_1} (\mu_1 r_1 + f) \text{ für Bauart IIa und IIb;}$$

$$W = \frac{G + G_0}{R_1} f \text{ für Bauart IIc.}$$

Sind bei Bauart III die Laufräder (Kugeln) mit Q_1 , der Mittelzapfen mit Q_2 belastet, also $Q_1 + Q_2 = G + G_0$, so ist

$$W = \frac{\mu_1 r_1 + f}{R_1} Q_1 + \frac{2}{3} \mu_2 \frac{r_2}{R_2} Q_2 \text{ für Bauart III a und III b;}$$

hierbei ist dann noch der bei der Drehung auf die Achszapfen wirkende Tangentialdruck zu berücksichtigen.

$$W = \frac{f}{R_1} Q_1 + \frac{2}{3} \mu_2 \frac{r_2}{R_2} Q_2 \text{ für Bauart III c.}$$

Erfolgt bei Bauart III a die Bewegung durch Antrieb von einem oder zwei Laufrädern, so muß der Druck Q_1' der letzteren auf die Umfangschiene sein

$$Q' \geq \frac{W}{\mu}.$$

In Wirklichkeit ist der Widerstand, namentlich für Bauart III c, größer, als die Formeln angeben, da sie die Unvollkommenheit der Ausführung nicht berücksichtigen.

Berechnungs-Annahmen: G für schwere Lokomotiven nebst Tender 65 bis 140 t; $G_0 = 95 d^2$ bis $105 d^2$ in kg für Lokomotiv-Drehscheiben; $G_0 = 150 d^2$ und $G_0 = 180 d^2$ in kg für Wagen- (Teil- und Voll-) Scheiben; $\mu_1 = 0,10$; $\mu_2 = 0,25$; $\mu = \frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$; $f = 0,05$ cm. Bei Bauart III für Lokomotiven sind die Träger am besten so zu berechnen, als ob der Mittelzapfen allein trüge; Ueberhöhung des Zapfens dann ungefährlich. Zulässige Belastung des Spurzapfens bei bestem Werkzeugstahl bis 3000 kg/qcm, bei Tiegelstahl 1200 kg/qcm, bei Schweiß-, Flufs- oder Gußeisen 700 kg/qcm.

Der Kraftbedarf*) ist je nach Bauart und Drehgeschwindigkeit verschieden. Scheiben in Anlehnung an die preuß. Norm. gebaut, erfordern bei 0,5 m/sk Umfangsgeschwindigkeit etwa 5 PS. Hauptstrommotoren und 7,5 PS. Drehstrommotoren, und zwar unabhängig von der Scheibengröße und somit der höchsten zulässigen Nutzlast, da bei vornehmlich Mittelzapfenbelastung der Bewegungswiderstand W annähernd der gleiche bleibt. Bei stärkerer Belastung der Laufrollen ist auch der Motor dem erhöhten Widerstand entsprechend kräftiger zu wählen. Die Motoren sollen nicht über 1000 Umdr./min besitzen.

7. Unterbau. Umfangsring (mit Laufkranz) und Drehstuhl („Königstuhl“) werden bei Lokomotiv-Drehscheiben fast stets, bei Wagen-Drehscheiben in der Regel bis zum gewachsenen Boden kräftig in Zement untermauert, weil genaue Höhenlage beider Teile behufs leichter Beweglichkeit unerlässlich ist. Der Laufkranz wird in der Regel aus gewöhnlichen Breitfußsschienen derart gebildet, daß bei Ruhelage der Drehscheibe kein Rad auf einem Schienenstosse steht, um das Ingangsetzen nicht zu erschweren. Befestigung der Laufschiene auf der Grundmauer mit Unterlagplatten, deren Höhenlage genau einzuwiegen und durch Untergießen mit Zement zu sichern ist. Aufbringen des Scheibenkörpers erst nach vollständigem Setzen des Unterbaues. — Obere Einfassung der Grube durch Mauerwerk mit Quaderabdeckung, besser jedoch durch einen zusammengesetzten Ring aus Gußeisen, auf dessen oberem Rand die Schienenenden zu befestigen sind. Gute Entwässerung der Grube nach einer den Königstuhl umgebenden Rinne mit Abfallschacht,

*) Tafel über den Stromverbrauch s. Z. d. V. d. I. 1904 S. 1155.

Tonrohr usw. — Abdeckung der Grube zwischen Laufkranz und Königstuhl durch Bekiesung, Pflasterung, Backsteinlage oder Betonestrich.

Für kleine Drehscheiben hat man die Untermauerung durch eiserne Schalen oder Rippenkörper („Tellerdrehscheiben“) ersetzt oder den Druck des Mittelzapfens durch Druckstreben und zentrische Zugstangen auf den Umfangsring zu übertragen gesucht. Für gröfsere Scheiben sind derartige Anordnungen jedoch kaum anwendbar.

i. Schiebebühnen.*)

1. Gröfse, Anordnung und Baustoff.

Länge der Schiebebühnen mindestens gleich dem grössten Radstande des darauf zu bewegendes Fahrzeuges + 0,5 m. Ueblich für Lokomotiven mit Tender und für Drehgestellwagen 14 bis 20 m, für sonstige Wagen 4 bis 9 m. Länge der Schiebebühnen in Werkstätten für Lokomotiven ohne Tender und für Wagen 9,0 m, bei 4-achsigen Wagen 10,5 m. Für 4- und 6-achsige Wagen wird gelegentlich parallel zur Hauptschiebebühne, sofern diese zu kurz ist, eine Hilfs-schiebebühne angeordnet, die für die Länge des Drehgestellradstandes zu bemessen ist (4,5 m); eine besondere Kupplung beider Bühnen ist entbehrlich. — Baustoff der Hauptträger wie bei Drehscheiben, vrgl. S. 843.

2. Bauarten.

I. Schiebebühnen mit Laufgrube (Versenkte Sch.-B.);

II. Schiebebühnen ohne Laufgrube (Unversenkte Sch.-B.).

Bei II. ist ferner nach der Lage der Räder zu den die Wagen aufnehmenden Längsträgern zu unterscheiden: a) mit Aufsenrädern, b) mit Innenrädern und c) mit Innen- und Aufsenrädern.

Bauart I: Schiebebühnen mit Laufgrube, sind in Hauptgleisen nur an Stumpfen zulässig (B O. § 20; A. f. S. § 12⁴; T V. § 44; Gz. f. L. § 34). Grube höchstens 0,5 m tief (T V. § 44). Für Entwässerung der Grube ist zu sorgen. Unterstützung der Schienen durch zwei Längsträger; diese befestigt an Querträgern, die an den Achslagern der Räder aufgehängt sind. Räder wegen leichter Bewegung möglichst grofs (preufs. Norm. 0,8 und 0,94 m Dmr.), deshalb aufserhalb der Längsträger, u. zw. aufserhalb des freien Profils. Die Querträger, meist in Zwillingsform, die Räder zwischen sich fassend, können bis unter die Höhe der Laufschiene hinabreichen. Bei Schiebebühnen von 8 bis 20 m sind meist 4 bis 8 Laufschiene angeordnet.

Neuerdings sind Bühnen jeder Gröfse mit 2 Laufsträngen ausgeführt worden, wodurch die Kosten für die Fahrbahn niedriger werden. Diese Bauart besitzt innen- und aufsenliegende Längsträger, die durch Querträger verbunden sind; die aufsenen Längsträger liegen aufserhalb des Fahrzeugprofils und können daher genügend hoch gemacht werden. An die Aufsenträger werden in Schwinghebel gelagerte Laufrollen so angebracht, dafs sich der Gesamtdruck gleichmäfsig auf alle 8 Räder verteilt. Trotz geringerer Grubentiefe können die Laufrollen im Interesse eines

*) Vrgl. Eisenbahnbau d. Gegenw., Abschn. 3 und H. d. I. W. Bd. V. — Musterzeichnungen der preufs. Staatsbahn von 1890, 1894, 1901 und 1905.

kleinen Fahrwiderstandes genügend groß genommen werden, so daß der Kraftbedarf der gleiche wie bei den bisher üblichen Schiebebühnen.

Führung der Bühne dadurch, daß ein Teil der Laufräder mit Spurkränzen oder Mittelkränzen versehen ist (in diesem Falle Zwillingschienen nötig). Laufschienen auf Steinwürfeln gelagert oder besser mit Unterlagsplatten auf durchlaufender Grundmauer befestigt und nach Lage und Höhe genau gerichtet, da jede Ungenauigkeit die Bewegung erschwert. Die nachteiligen Wirkungen der Gleisunebenheiten lassen sich durch statisch bestimmte Lastverteilungen auf die einzelnen Räder vermeiden. *) Raddruck der Fahrzeuge s. S. 798. Abdeckung der Bühne durch Riffel- oder Waffelblech (8 mm dick) oder Bohlen. Abdeckung des Führerstandes mit Holz empfehlenswert, da bei Handbetrieb bessere Standfestigkeit und bei elektrischem Betrieb weniger Erdkurzschluss. Anordnung von Stufen im Wangenmauerwerk zur Erleichterung des Verkehrs in Werkstätten erwünscht; Stufen weiß streichen, um sie augenfällig zu machen und Unfällen vorzubeugen. Feststellvorrichtung bei Lokomotiv-Schiebebühnen durch Schubriegel, wie bei Drehscheiben (vgl. S. 845), fehlt oft bei Werkstattsschiebebühnen (vgl. u. 3).

Beispiel: Preufs. Norm. für Lokomotiven ohne Tender 9 m lang, 3 Querträgerpaare, 3 Laufschienen. Dsgl. für Lokomotiven mit Tender 16,15 m lang; 5 Querträgerpaare, 8 Laufschienen, die beiden äußeren einfach, die anderen in drei Gruppen gepaart; Tiefe der Laufgrube 460 mm unter S.-U.

Vorteile der Laufgrube: Bühnengleis in gleicher Höhe mit den anschließenden Gleisen, daher leichtes Aufbringen der Fahrzeuge; Ausbildung der Träger für schwerste Betriebsmittel ohne Schwierigkeiten möglich.

Nachteile: Die offene Grube erschwert den Verkehr der Bediensteten, verschneit im Freien leicht und ist gefahrbringend für in Bewegung geratene Betriebsmittel.

Bauart II: **Schiebebühnen ohne Laufgrube.** Im allgemeinen nur für Fahrzeuge bis etwa 30 t gut anwendbar, da die Ausbildung stärkerer Längsträger schwierig. Vorteil gegenüber Bauart I ist das Fehlen der offenen Grube. Die Verwendung von Innenrädern ergibt schweren Gang, da diese in Rücksicht auf das Fahrzeugprofil nur klein sein können. Zur Verminderung des Fahrwiderstandes empfiehlt sich die Verwendung von Kugellagern besonders bei den Innenrädern. **)

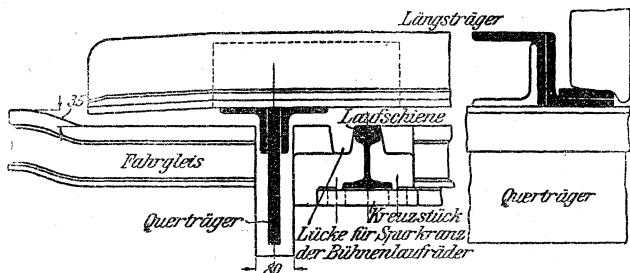
Bauart IIa gestattet bei einem Abstand der Radachsen von 4,3 bis 4,5 m verhältnismäßig große Räder (0,8 bis 0,9 m Dmr.), mithin leichte Bewegung. Dabei unter den Längsträgern kräftige Querträger, die in Schlitz der Fahrschienen hinabreichen. Dies bedingt mehrfache Unterbrechung der Fahrschienen auf 50 bis 100 mm Länge für jeden Querträger. solche Bühnen in Hauptgleisen nur an Stumpfen anwendbar, in Werkstattgleisen vielfach üblich, besonders für Wagen und leere Lokomotiven ohne Tender. Schlitz jedoch störend und nicht ganz ungefährlich. — Die Querträger sind seitwärts an den Laufachsen aufgehängt. Beispielsweise bei 8 m Bühnenlänge vier Laufschienen; je zwei Räder in 1,5 bis 2 m Abstand, auf einer Achse. (Preufs. Norm. 1894 für Wagen in Werkstätten, 8 m lang, 0,8 m Raddurchmesser, 4 Laufschienen.) Dabei beträgt der

*) Org. f. F. d. E. 1910 S. 376.

**) Vgl. Gl. A. 1910, Heft 7 S. 135.

Höhenunterschied zwischen Fahrfläche der Schiebebühne und den Fahr-
schienen z. B. 74 mm; er wird jedoch durch eine geringe Senkung
(Kröpfung) der Fahrschienen (um 35 mm) geteilt, so daß der Rest (39 mm)
mit Hilfe eines kurzen festen Auflaufs an den Enden der Längsträger
unschwer überwunden wird (s. Abb. 83). Für Entwässerung der Schlitz-

Abb. 83.



kanäle ist zu sorgen. — Anwendung auch für Lokomotiven im Dienste,
so bei Kopfstationen.

Bauart IIb wird selten angewandt. Die Fahrfläche des Bühnengleises
liegt mindestens 45 mm höher als die anschließenden Enden der Fahrgleise;
zum leichten Auffahren auf das Bühnengleis wird deshalb die Bühne mit
einem federnden rampenartigen Ansatz — Zunge — versehen, der von
dem auffahrenden Rad auf die Schiene gedrückt wird, aber beim Fahren
der Bühne darüber schwebt. Dabei sind in den Fahrschienen sowie in
den Bühnenlaufschienen Lücken für die Spurkränze der Räder notwendig.
Diese lassen sich bei den Fahrschienen vermeiden, indem die Bühnen-
laufschienen etwa um 15 mm höher gelegt werden, so daß die niedrigen
Spurkränze der Bühnenräder über die Schienen der Fahrgleise hinweg-
rollen. Die Lücken in den Lautschienen werden dann jedoch so groß,
daß gepaarte Laufrollen, also verdoppelte Laufschienen (davon die eine
erhöht) verwandt werden müssen. Die Auffahrhöhe ist dann noch um
15 mm größer als vorhin.

Bauart IIc mit kleinen Innenrädern und großen Aufsenrädern hat
ebenso wie IIb gegenüber der Bauart IIa den Vorzug, daß die Schlitz-
kanäle fortfallen und die Fundamente somit billiger werden. Der Be-
wegungswiderstand liegt, genaue Lage der Laufschienen vorausgesetzt, die
daher wie bei IIb gut zu untermauern sind, zwischen dem der Bauart IIa
und IIb. Die Querträger bestehen aus Flacheisenstäben. Der Höhen-
unterschied zwischen Bühnengleis und Fahrgleis ist größer als bei IIb, die
Auffahrzungen müssen daher entsprechend lang gemacht werden. Die
Unterbrechung der Fahrschienen kann durch geringe Höherlegung wie
bei IIb vermieden werden, so daß Bühne in Hauptgleisen angewandt
werden kann.

Beispiel. Preufs. Norm. 1905. Für Wagen 9 m lang, 4 Querträgerpaare von je
72 × 240 mm. 4 Laufschienen. 6 Aufsenräder 920 mm Drm., 3 Innenräder 560 mm Drm.

Auffahrhöhe 150 mm, Zungen 2 m lang. Lücken in den Fahrachsen und den Laufschienen 41 mm.

Anm.: Bauart IIc ist auch mit kleinen Außenrädern möglich und ähnelt dann in ihren Eigenschaften der Bauart IIb.

3. Bewegungsvorrichtungen.

Kleine Wagen-Schiebebühnen, von Hand geschoben, auch gehaspelt. Für größere Bühnen Antrieb durch Uebertragung einer Kurbel-Drehbewegung auf ein oder zwei Laufräder. Antrieb erfolgt von Hand oder bei großen Bühnen und häufiger Benutzung auf mechanischem Wege durch auf der Bühne stehende Gas- oder Dampfmaschine, durch Druckwasser oder durch stetig umlaufendes Seil, das von einer ohnehin vorhandenen Dampfmaschine aus angetrieben wird, neuerdings aber meist durch Elektromotor mit Wendeanlasser zum Fahrtrichtungswechsel. Stromzuleitung unterirdisch oder besser oberirdisch. Mit der Bewegungswinde ist unter Zwischenschaltung einer Klauenkupplung häufig eine Windetrommel zum Heranziehen der Wagen durch ein Seil verbunden. Um ein genaues Anhalten zu ermöglichen, sind die Winden mit Bremsen auszurüsten und diese zweckmäßig durch Fußtritthebel zu bedienen; auch können Bremshebel und Einrückhebel der Kupplung so miteinander zwangsläufig verbunden werden, daß beim Arbeiten der einen Winde die andere gebremst wird (besondere Feststellvorrichtung durch Riegel alsdann entbehrlich).

Zum Antrieb werden bei Gleichstrom Hauptstrommotoren verwandt; ist eine vom Fahrmotor getriebene Wagenwinde vorhanden, so sind Nebenschlußmotoren oder wegen des größeren Anlaufmomentes besser Doppelschlußmotoren zu nehmen, andernfalls ist eine Vorrichtung zu treffen, welche bei Bewegung der Wagenwinde ein Durchgehen des Hauptstrommotors verhindert.

Uebliche Fahrgeschwindigkeiten bei Lokomotivschiebebühnen 0,5 bis 1,5 m/sk, bei Wagenschiebebühnen bis 2 m/sk. Die Aufzugsgeschwindigkeiten in der Regel die gleichen, wie für die Bühne, da der Bewegungswiderstand der Fahrzeuge meist kleiner als der Fahrwiderstand der Schiebebühne.

4. Bewegungswiderstand, Kraftbedarf.

Bezeichnet

Q das Gesamtgew. der Bühne und der zu verschiebenden Last in kg,

Q' die Belastung der als Triebräder benutzten Laufräder in kg,

W den Bewegungswiderstand am Umfange der Laufräder in kg,

R „ Halbmesser der Laufräder in cm,

r „ „ „ Zapfen der Laufräder in cm,

μ_1 „ Wert der Zapfen-Reibung der Laufräder,

μ „ „ „ gleitenden Reibung zwischen Rad und Laufschiene,

f die Reibungszahl der rollenden Bewegung in cm,

so ist
$$W = \frac{\mu_1 r + f}{R} Q \quad \text{und} \quad Q' \geq \frac{W}{\mu}.$$

Mittelwerte für Gleitzapfen in Bronzeschalen: $\mu_1 = 0,08$ bis $0,1$; $\mu = 1/6$ bis $1/8$; $f = 0,05$ cm für größere Räder; für kleinere Räder (Innenräder) $f = 0,07$ cm; der größere Wert von μ gilt bei Schiebebühnen in überdachten Räumen und bei gleichmäßigem Drehmoment (Elektromotor).

Zu dem rechnungsmäßigen Widerstand ist in Hinsicht auf die Spurranzreibung, die Unebenheit der Laufschienen und die unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Herstellung bei kleineren Bühnen ein Zuschlag von 10 vH, bei mittleren 20 vH, bei größeren bis zu 30 vH des Gesamtfahrwiderstandes zu machen.

Der **Kraftbedarf**, je nach Bauart und Fahrgeschwindigkeit verschieden, ist in nachstehender Tabelle für elektrischen Antrieb auf Grund von Ausführungen zusammengestellt.

Bauart	Länge in m	Trag- fähig- keit in t	Lauf- raddrm. in mm	Zapfendrm. in mm	Ge- schwin- digkeit in m/min	Motor in PS
Versenkt	8	65	800	105	45	15) Hauptstrom
„	9	80	940	110	40	15) „
„	16,15	100	800	105	30	25 Drehstrom
„	20	150	900	105 u. 120	30	24 Hauptstrom
Unversenkt IIa	8	25	800	95	60	30 Drehstrom
„ IIc	9	30	920 außen 280 innen	90 u. 60	55	11 „

Die Motoren sollen nicht über 1000 Umdr./min besitzen. Drehstrommotoren sind wegen ihres geringeren Anzugsmomentes kräftiger zu wählen als Hauptstrommotoren.

k. Wasserversorgung der Bahnhöfe.*)

Wasserbedarf. Wasser wird verbraucht: a) zur Speisung der Lokomotiven und zum Auswaschen ihrer Kessel; b) zur Speisung von Dampfkesseln, für die Werkstätten, die Gasanstalten, Verbrennungsmotore; c) zur Reinigung der Wagen (bei Frost heißes Wasser), Bessprechung der Bahnsteige, Kohlenlager usw.; d) zur Versorgung der Trinkbrunnen und Gebäude, Abort; e) für Feuerlöschzwecke.

Da gutes Kesselspeisewasser nicht immer zu Trink- und Wirtschaftszwecken geeignet ist, auf den Bahnhöfen aber weit mehr Kesselspeisewasser als Trinkwasser benötigt wird, wird das Trink- und Wirtschaftswasser u. Umst. aus städtischen Werken bezogen.

*) Es bedeutet Gz. W. eine Bestimmung der „Grundzüge für die Errichtung von Bahnwasserwerken und Vorschriften für die Wasseruntersuchung“, vom preuß. Min. der öffentl. Arbeiten, 1907. Vgl. ferner Eisenbahnbau d. Gegenwart, Abschn. 3. Stockert, Teil II.

Wassermenge für Lokomotivkesselspeisung aus der Anzahl und Art der Züge, deren Lokomotiven zu versorgen sind, aus der Grösse der Lokomotiv- und Wagenschuppen, Viehwagenwäsche, Werkstätten usw.

Eine Tenderfüllung 10 bis 20 cbm, vereinzelt 30 cbm. Im Flachlande ist je nach Grösse der Tender, Anzahl und Lage der Zwischenstationen und nach den Steigungsverhältnissen der Bahn die Ergänzung des Tenderwassers nötig nach einer voll belasteten Fahrt von

90 bis 180 km bei Schnellzug-Lokomotiven,
nach 60 bis 120 km bei Personenzug-Lokomotiven,
nach 30 bis 60 km bei Güterzug-Lokomotiven,
nach 20 bis 40 km bei Tender-Lokomotiven;

bei Bahnen mit anhaltend starken Steigungen schon nach 50 km bei Personenzug-, nach 25 km bei Güterzug- und nach 15 bis 20 km bei Tender-Lokomotiven (Gz. W.).

Wasserverbrauch einer Lokomotive (im Flachlande) 0,06 bis 0,20 cbm/km. Mittelwert für Schnellzüge 0,1, für Güterzüge 0,15 cbm/km.

Hiernach hängt die Entfernung der Wasserstationen ab von der Verwendung von Güterzug- oder Tender-Lokomotiven und von den Steigungen der Bahn; sie ist i. M. etwa 25 bis 30 km, bei Gebirgsbahnen kleiner, bis zu 5 km herab.

Für ganze Militärzüge ist Wasserverbrauch zu 150 l auf 1 km anzunehmen.

Für Wasserdruckproben sind 5 bis 7 cbm; für jedes Kesselauswaschen 5 bis 10 cbm zu rechnen; ausserdem ist bei mittelmässigem Speisewasser zwischen den Auswaschzeiten ein- oder zweimaliges Ablassen des Wassers und Wiederauffüllen mit je 5 cbm erforderlich.

Für Reinigen eines bedeckten Güterwagens bei Viehbeförderung werden etwa 2 cbm, für das eines Kleinviehagens 7 bis 25 cbm Wasser verbraucht. Kohlenlagerplätze erfordern etwa 2 l/qm, Bahnsteige 1,5 l/qm.

Wasserentnahme kann erfolgen: 1. aus Quellen und durch diese gespeisten Sammelteichen, 2. aus Flüssen, Bächen, Teichen und Seen, 3. aus Brunnen oder anderen Grundwassersammlern, 4. aus städtischen Wasserwerken, 5. während der Fahrt aus etwa 500 m langen Kanälen zwischen den Schienen (nach Ramsbottom; England, Nordamerika).

Bei Wasserentnahme zu 1. und 2. sind meist Filteranlagen nötig; bei 1 bis 3 ist ausserdem die Veränderlichkeit der Wassermenge zu beachten; die chemische Reinigung hat sich vielfach nicht bewährt (Gz. W.); bei 4. ist der Einfluss eines möglichen Versagens der Wasserwerke auf die Betriebssicherheit, z. B. durch Naherücken der Wasserstationen (s. u.), zu beseitigen.

Stationen ohne Speisung von Lokomotiven erhalten ihren Wasserbedarf aus Brunnen mit Handpumpen, auch aus Quellenleitungen oder durch Anschluss an (städtische) Wasserwerke. Stationen mit Speisung von Lokomotiven (und zumal solche mit Lokomotivschuppen, Werkstätten) erfordern die Anlage besonderer Wasserstationen (TV. § 58). Erforderliche Wassermenge kann von der Landes-Aufsichtsbehörde festgestellt werden (BO. § 15). (Militärische Rücksichten.) Auf die Wirkung des Frostes ist überall zu achten.

Wasserbeschaffenheit. Die hohe Beanspruchung des Lokomotivkessels verlangt ein besonders gutes Kesselspeisewasser. Solches darf auf 1 l höchstens 0,15 g feste Verdampfungsrückstände (Kesselstein)

ergeben. Bei 0,15 bis 0,25 g gilt Wasser noch als ziemlich gutes, bei 0,25 bis 0,35 g nur noch als eben brauchbares Kesselspeisewasser. Wasser mit größerem Verdampfungsrückstande, unreines, chlor- und säurehaltiges Wasser ist zur Kesselspeisung unbrauchbar (Gz. W.). Untersuchung und u. Umst. dauernde Reinigung nötig. Ueber Reinigung des Kesselspeisewassers s. II. Bd. S. 68.

Zur Vermeidung von Reinigungsanlagen mit hohen Unterhaltungskosten neuerdings selbst bei hohen Anlagekosten Bezug von natürlich weichem Wasser (oder weichem Wasser aus Tiefbrunnen).

Gereinigtes Kesselspeisewasser ist als Trinkwasser meist nicht einwandfrei.

Trinkwasser, das zur Versorgung der mit der Eisenbahn zu befördernden Truppen bestimmt ist, soll alle vier Jahre, das Wasser aller sonstigen Entnahmestellen alle sieben Jahre untersucht werden. Untersuchung des Trinkwassers s. Abschn. Wasserversorgung.

Größe des Wasserwerks ist nach dem größten täglichen Wasserbedarf zu bemessen (24 Stunden) und auf eine der Stufen: 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500 cbm und von hier ab um je 500 cbm steigend abzurunden. Der Behälterinhalt einer Wasserstation soll beim stärksten gewöhnlichen Bedarfe mindestens 20 Stunden, bei außergewöhnlichem Bedarfe (Militärbeförderung) mindestens 4 Stunden ausreichen. Bei Hilfswasserstationen muß der Inhalt für die Zeit, in der nicht gepumpt wird, ausreichen.

Bei Entnahme aus fremden Werken ist Aufstellung eines Behälters für zwanzigstündigen Bedarf zweckmäßig.

Stellung der Wasserstation. Möglichst im Schwerpunkte der Hauptverbrauchsstellen, deshalb u. Umst. getrennt von der Pumpstation, deren Lage an die Höhe der Entnahmestelle (Flüsse, Seen) gebunden ist. Bei Neuanlagen zunächst einen großen Behälter und bei Erweiterung einen zweiten Behälter in Verbindung mit der Kranrohrleitung bei einer anderen Verbrauchsstelle erbauen. Bei Stationen mit weit auseinander liegenden Bahnhofsbzirken kann die Errichtung mehrerer Wassertürme von vornherein zweckmäßig sein.

Ausnahmsweise können zwei und mehrere kleine, runde oder rechteckige Behälter auf demselben Unterbau hergestellt und durch Rohre verbunden werden; diese sollen zur Reinigung und Ausbesserung der Behälter absperrbar sein. Auch muß dann Zu- und Abfluß für die einzelnen Behälter abgeändert werden können.

Die Wasserbehälter sind zu überdecken oder je nach den örtlichen Verhältnissen zu umbauen. Der umbaute Raum muß bestiegbar und mit Entlüftungsvorrichtungen versehen sein. Eiserne Behälter sind mit Einrichtungen zur Abführung des Schwitzwassers auszustatten. Wenn das Wasser in den Behältern längere Zeit hindurch nicht wechselt, so sind sie nach Bedarf im Winter durch Vorwärmer oder Öfen zu heizen.

Tropfboden (aus Zinkblech) oder feste Decke unter den Behältern ist erforderlich, wenn sich darunter Lagerräume u. dgl. befinden; jedenfalls muß der Behälter-Boden von unten sichtbar und der Behälter bei Ausbesserungen überall leicht zugänglich sein.

Jeder Wasserturm ist mit einem gut sichtbaren Wasserstandszeiger zu versehen. Wenn der Wasserstand im Behälter vom Pumpwerke

aus nicht unmittelbar beobachtet werden kann, so ist er dort durch elektrische Fernzeiger erkennbar zu machen.

Gegen Ueberflutung sind Ueberlaufrohre anzuordnen, auch sperrt man hierzu mit einem Ventil, das durch Schwimmer oder durch ein (mit Ueberlaufwasser beschwertes) Gefäß selbsttätig bewegt wird, die Druckleitung der Pumpe ab und bringt gleichzeitig in der Druckleitung ein Sicherheitsventil mit Lärmpfeife oder ein Manometer an. Zu- und Abflussstelle eines Behälters möglichst voneinander entfernt anzubringen.

Größe und Bauart der Behälter. Gestalt kleiner Behälter am besten zylindrisch; aus Blechtafeln genietet, ≥ 6 mm stark, Höhe etwa gleich dem halben Durchmesser. Empfohlene Behältergrößen:

Durchmesser d . . . m	4,0	5,0	6,5	8,0	9,0	10,0	11,0
Seitenhöhe h . . . m	2,0	2,5	3,25	4,0	4,5	5,0	5,5
Nutzbarer Inhalt . . cbm	25	50	100	200	300	400	500

Boden aus Blechen (6 bis 9 mm dick), kugelförmig (Abrundungshalbmesser = d , Höhe = $0,134 d$), auch kegelförmig (Höhe = $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{9} d$). Auflagerung auf einzelnen gußeisernen Stühlen oder vollem Ringe. Ueber die Intzesche Form s. S. 728. Neuerdings werden halbkugelförmige Böden (Halbm. = $\frac{1}{2} d$) und Unterstützung des Behälters durch senkrechte Versteifungen der Zylinderwand für große Behälter bevorzugt.

Zur Beseitigung der Schlammablagerung ist jeder Wasserbehälter mit einer Spülleitung zu versehen. Einmündung der Fällleitung in den Behälter ist etwas höher als der Behälterboden an dieser Stelle zu legen.

Druckhöhe zwischen Unterkante der Behälter und Schienenoberkante nicht unter 10 m; bei großer Leitungslänge und bei besonderer Rücksicht auf Feuersgefahr erheblich mehr, so z. B. bei Werkstätten nach der Höhe der Gebäude. Sind Krane für Lokomotiven der Personen- und Schnellzüge zu speisen, so rechnet man für je 200 m der 800 m übersteigenden Entfernung 1 m Druckhöhe mehr oder stelle Hilfsbehälter auf.

Ist in der Nähe des Hauptwasserverbrauches eine natürliche Höhe vorhanden, so ist bei gutem Baugrunde die Anlage eines gemauerten Behälters (Wasserkellers) von runder oder viereckiger Form zweckmäßig. Inhalt tunlichst den zwei- bis dreitägigen Bedarf umfassend (Gz. W.). Bei schlechtem Baugrund runder eiserner Behälter.

Rohrleitungen. Gewöhnlich innen und außen geteerte Muffenrohre. Der Durchmesser der Hauptverteilungsleitungen soll nicht unter 200 mm betragen; sie sind im übrigen nach der von ihnen verlangten Leistung mit Berücksichtigung der Hilfsbehälter von Fall zu Fall zu berechnen. Lichter Durchmesser für kurze Saug- und Druckrohrleitungen etwa $\frac{2}{3}$ von dem des Pumpenkolbens; für längere Leitungen ist bei der Lichtweite Berücksichtigung des Leitungswiderstandes (s. I. Bd., S. 281 u. f.) nötig. Saugrohr zum Brunnen, Druckrohr nach dem Behälter, Fallrohr vom tiefsten Punkte des Behälters nach den Entnahmestellen. Bei geringer Entfernung zwischen Pumpwerk und Wasserbehälter ist die Druckleitung nicht als Fällleitung zu benutzen. Bei größerer Entfernung zwischen Pumpe und Behälter kann zur Einschränkung der Anlagekosten die Druckleitung in genügender Entfernung von der Pumpe als Fällleitung verwendet werden. Sie ist im übrigen so anzulegen, daß der Behälter

nicht auslaufen kann, wenn sie bricht oder undicht wird (Schwanenhalsausgufs). Alle Rohrleitungen sind mit stetigem Gefälle anzuordnen; sonst an Stellen, wo sich Luftsäcke ansammeln, kleine Windkessel und Endlüftungsventile oder -hähne nötig. Krümmer mit kleinen Abrundungen oder T-Stücke ohne jede Abrundung sind zu vermeiden (Gz. W.). Durchmesser der Kranrohre und Zuleitung ≥ 200 mm. Frostfreie Lage der Rohre im Erdboden in Deutschland 1,3 bis 1,6 m tief. An geeigneten Stellen sind Schieber, Schlammkasten und Windkessel einzuschalten.

Alle Leitungen müssen sich vom Behälter aus spülen lassen.

In nachgiebigem Boden oder, wo bei einer Beschädigung der Rohrleitungen, Bauwerke, Bahndämme u. dgl. gefährdet werden könnten, werden flusseiserne Rohre mit Jutebewicklung angewendet.

Die Leitungsrohre dürfen nicht chemischen Einflüssen ausgesetzt werden, z. B. nicht in Kohlenasche oder Schlacke eingebettet werden. Gleise usw. sind durch Leitungen möglichst wenig zu berühren.

Für jedes Leitungsnetz ist ein besonderer Rohrplan zu fertigen.

Pumpwerke sind da anzulegen, wo gutes Wasser dauernd reichlich vorhanden ist. **Brunnen**, 2 bis 3 m Dmr. und womöglich 4 bis 5 m vom nächsten Bauwerk entfernt, abgedeckt. Je nach den örtlichen Verhältnissen Flach- oder Tiefbrunnen, u. Umst. auch beide Arten, die, wenn möglich, durch Heberleitungen zu verbinden sind. Tiefbrunnen sind in der Regel als Rohrbrunnen herzustellen, oben zuweilen mit einem gemauerten, bequem besteigbaren Schacht, der das Pumpwerk aufnimmt.

Bei Heberleitungen ist zur Aufspeicherung des Wassers ein der Pumpenfördermenge angepaßter Sammelbrunnen anzulegen, in den die Heberleitungen unter tiefstem Wasserstand einmünden. Der Brunnen ist um so tiefer zu bemessen, je länger die Heberleitungen, weil zur Bewegung des Wassers in diesen Leitungen nur der Unterschied der Wasserspiegel im Rohr- und Sammelbrunnen zur Verfügung steht. Höchster Punkt der Heberleitung und tiefster (abgesenkter) Wasserspiegel des Sammelbrunnens dürfen höchstens 8 m voneinander entfernt sein. Mit Rücksicht auf die erzielbare, nur geringe Geschwindigkeit in den Heberleitungen nicht zu kleine Durchmesser wählen. Jeder Brunnen einzeln derart abschaltbar, daß seine Reinigung ohne Störung möglich ist. Widerstände in der Heberleitung möglichst vermeiden, daher auch keine rechtwinkligen Anschlüsse. Allmähliches Ansteigen bis zum abfallenden Rohrende erforderlich. Am höchsten Punkt der Leitung ist die Luft je nach der im Grundwasser enthaltenen Luft- und Kohlensäuremenge durch besondere Einrichtungen (Wasserstrahlejektor, Luftpumpe) abzusaugen, die gleichzeitig zum Ingangsetzen der Anlage erforderlich sind.

Die **Pumpwerke** sollen den 24-stündigen Bedarf in etwa 10 Tagesstunden fördern, nur bei außergewöhnlichem Bedarf (Truppenbeförderung) ist mit Nachtbetrieb auszuhelfen (Gz. W.). Bei elektrischem Betrieb der Pumpen mit ständiger Stromzuführung und selbsttätigen Schaltvorrichtungen ist in der Regel Tages- und Nachtbetrieb zweckmäßig.

Zur Wasserförderung sind geeignet: Kolbenpumpen, Kreisel-pumpen (geringe Wartung), die letzteren besonders bei elektrischem Antrieb, bei Tiefbrunnen Pumpen mit senkrechter Welle (geringer Grundflächenbedarf) und unmittelbar gekuppelten elektrischen Triebmaschinen

oder PrefsLuftpumpen (Mammutpumpen), Pulsometer nur als Aus-
hülfsanlagen bei Wasserentnahme aus Brunnen.

Als Dampfleitung zu von Lokomotiven betriebenen Wasserhebevorrich-
tungen sind biegsame Rohre $\geq 2,5$ m lang anzuwenden, deren Anschluß-
stücke mit denen der Dampfheizung übereinstimmen (T V. § 82 u. 103).
Saughöhe der Pumpen ≥ 6 bis 7 m.

Die Anlage von Aushülfsmaschinen für Notfälle ist besser als Wasser-
stationen in halber Entfernung; doch können zwischen den Haupt-Wasser-
stationen kleine Hülf-Wasserstationen, mit Pulsometer, Handpumpe,
Windrad oder einer (geeignetenfalls von einem Wanderheizer bedienten)
Kleinkraftmaschine ausgerüstet, u. Umst. vorteilhaft sein.

Wasserkrane (s. B O. § 15²). Jeder Wasserkran muß in der die Gleise
freilassenden Ruhelage feststellbar sein und mindestens 1 cbm/min liefern
können. Bei Wasserkranen für durchgehende Personen- und Schnellzüge
ohne Lokomotivwechsel soll die Ausflußmenge nicht unter 5 cbm/min be-
tragen (Gz. W.). — Ausgüsse der Wasserkrane müssen mindestens 2,85 m
über S.-O. liegen. T V. 59¹ geben als bindende Vorschrift bei Neu- oder
Umbauten mindestens 3,0 m über S.-O. Für die zum Schnellzugdienst
bestimmten Wasserkrane wird 3,4 m empfohlen. Wasserkrane mit dreh-
barem Ausleger müssen mit einem Signal versehen sein, das die Quer-
stellung des Auslegers bei Dunkelheit anzeigt. (B O. § 15⁴. S.-O., Signal 11;
T V. § 59.) Zwischen zwei Gleisen stehende Krane sind so anzuordnen,
daß während des Wasserfassens in dem einen Gleis nicht ein Teil des
Kranes in die Umgrenzung des lichten Raumes des anderen Gleises
hineinragt. Bei Frostwetter muß das Wasser aus den Kranen abgelassen
werden können. Freistehende Krane sind ein- und mehrgleisigen Kran-
auslegern (Wandwasserkranen) vorzuziehen. Ausleger meist wagerecht,
selten lotrecht drehbar oder schlauchförmig. Behälter-Wasserkrane wenig
gebräuchlich. Doch sind zur Abkürzung der Entnahmezeit bei Wasser-
nehmen ohne Lokomotivwechsel vielfach Hülfbehälter von 25 bis 50 cbm
Inhalt in unmittelbarer Nähe der Wasserkrane zweckmäßig. Wo es auf
möglichst schnelle Abfertigung ankommt, empfiehlt sich die Verwendung
von Kranauslegern mit Gelenkrohren.

Aufstellung der Wasserkrane zwischen den Hauptgleisen an den
Bahnsteigen derart, daß in jeder Fahrrichtung die Lokomotiven ohne
Abkupplung vom Zuge Wasser nehmen können. Ihre Ausleger sollen
in Ruhestellung tunlichst der Fahrrichtung entgegengerichtet sein. Für
durchgehende Güterzüge ohne Lokomotivwechsel sind die Wasserkrane
an den Ausfahrtgleisen für jede Fahrrichtung möglichst so aufzustellen,
daß die Zuglokomotiven sie ohne mehrfaches Hin- und Herfahren er-
reichen können. Für die einem Bahnhofe zugeteilten Lokomotiven ist
ein Wasserkran neben jedem Einfahrtgleise zum Lokomotivschuppen (etwa
nahe der Kohlenladebühne oder an der Reinigungsgrube, aber so, daß
zum Absteigen in die Grube noch Platz ist) aufzustellen. Im Innern der
Schuppen ist die Aufstellung von Wasserkranen entbehrlich (Nachfüllen
durch die Auswaschluken, Ablaufshahn). Auf größeren Verschiebebahn-
höfen Aufstellung der Wasserkrane in der Nähe der Hauptausziehgleise
oder der Ablaufberge, wenn kein anderer in der Nähe.

Bemerkung. Auf Nebenbahnen, die strategische Bedeutung haben, sind die
für die Wasserversorgung der Hauptbahnen aufgestellten Grundsätze ebenfalls maß-

gebend; andernfalls sind nur die örtlichen Verhältnisse für die Anlage der Wasserstationen bestimmend (Gz. W.).

Wasserpfosten und Zapfhähne sind an den Bahnsteigen, Entseuchungsanlagen und Kohlenlagern, an den Aufstellungsgleisen zum Reinigen der Wagen und für Feuerlöschzwecke vorzusehen. Die Zuleitungen nicht unter 50 mm lichter Weite (Gz. W.). Alle Zapfstellen für Feuerlöschzwecke leicht zugänglich dort angebracht, wo sie vom Feuer nicht unmittelbar erreicht werden können (Feuerwehrfachmann). Wo zu Feuerlöschzwecken höherer Wasserdruck als gewöhnlich verwandt wird, müssen Umstellvorrichtungen leicht zugänglich und bequem bedienbar sein (Gz. W.).

I. Kohlenversorgung der Bahnhöfe.*)

(Vrgl. II. Bd. S. 513 u. f.)

Kohlenverbrauch. Der Kohlenverbrauch gleicher Lokomotivgattungen unter denselben Verhältnissen schwankt mit Rücksicht auf den Unterhaltungszustand, die Behandlung der Fahrzeuge und die Fähigkeiten des Personals sehr erheblich. Kohlenverbrauch, auf Zugkilometer bezogen, gibt keinen Anhalt für Beurteilung der Wirtschaftlichkeit, da Streckenverhältnisse, Fördermengen und Geschwindigkeiten zu berücksichtigen sind. Das gleiche gilt von der Maßeinheit des t/km. Am einwandfreiesten ist Beziehung des Kohlenverbrauchs auf PS/st, die sich aber nur bei besonderen Versuchen einwandfrei ermitteln lassen.**)

Der Kohlenverbrauch einer Lokomotive fällt bis zur wirtschaftlichsten Ausnutzung, er steigt mit zunehmender Geschwindigkeit und auf Steigungen. (Für Güterzüge sind etwa 30 km/st als wirtschaftlichste Geschwindigkeit anzusehen.) Leerzüge erfordern höheren Kohlenverbrauch als Vollzüge gleichen Gewichts. Lokomotiven mit großer Zugkraft für gleiche Fördermengen wirtschaftlicher als mehrere kleine (besonders auch mit Rücksicht auf Personalbedarf und Unterhaltungskosten). Verkehrs- und Streckenverhältnisse bedingen so erhebliche Schwankungen im Kohlenverbrauch, das Vergleich nur bei denselben Vorbedingungen möglich. Auf PS/st am Triebbradumfang bezogen kann etwa 1,4 kg als Kohlenverbrauch angenommen werden. Auf Flach- und Hügellandbahnen werden im Mittel etwa 12 kg/km, bei Personenzügen etwa 10 kg/km, bei Güterzügen etwa 16 kg/km Kohlen verbraucht; dabei verdampft 1 kg Kohle etwa 6 bis 7 kg Wasser.

Brennstoffkosten betragen etwa 8 bis 12 vH der Gesamtausgaben der Eisenbahnen. Kosten für eine Lokomotive im Jahresdurchschnitt 4000 bis 6000 M (bei mäßigen Kohlenpreisen).

Lagerung der Kohlen. Auf größeren Bahnhöfen sind ausreichende Kohlenbestände zu lagern (Kriegsbestände, Herbstvorräte). Lokomotivkohlen sind jedoch möglichst von den Wagen an die Lokomotiven unmittelbar zu verausgaben. Kohlen, Koks und Briketts sind sonst getrennt auf trockenem Lager mit ebener tragfähiger Grundlage unterzu-

*) Näheres s. u. a. Stöckert, Handbuch des Eisenbahnmaschinenwesens, Teil II. Eisenbahntechnik der Gegenwart Teil II.

**) Sanzin, Brennstoff-Berechnung für Lokomotiven, Verkehrstechnische Woche 1910 S. 701 u. f. — Richter, Abhängigkeit des Heizstoffverbrauches der Lokomotiven von den Betriebsleistungen der Eisenbahnen. Organ 1909 S. 12 u. f.

bringen. Stapelhöhe der Kohlen bis zu 2,5 m, der Briketts (nur wetterbeständige auf Dauerlager) bis 3 m. Staubkohlenhaufen sind in senkrechter Richtung mit Gasrohren in Entfernungen von einigen Metern zu durchsetzen, in die von Zeit zu Zeit Thermometer zur Feststellung der Temperaturen hinabzulassen sind. Neben Dauerlagern, die zweckmäßig nach Jahrgängen und Zechen getrennt werden, sind Tageslager in Nähe der Ladebühne anzulegen. Ermittlung der Bestände durch Vermessen; Durchschnittsgewichte für 1 cbm

Lokomotiv- steinkohlen aus	{ dem Ruhrgebiet	900 kg	Gassteinkohlen . .	800 kg
	{ dem Saargebiet	870 "	Schmiedesteinkohlen	760 "
	{ Niederschlesien	830 "	Steinkohlenbriketts .	1000 "
	{ Oberschlesien .	780 "	Schmelzkoks . . .	450 "
			Gaskoks	350 "

Lager meist gut umfriedigt („Kohlenbansen“), durch ein oder mehrere Zufuhrgleise gespeist, in Nähe der Verbrauchsstellen mit Rücksicht auf Erweiterungsmöglichkeit anlegen. Sie werden von leicht verschiebbaren Schmalspurgleisen (50 bis 75 cm Spurweite) durchzogen.

Kohlenversorgung der Lokomotiven von Hand, mit Kranen oder großen mechanischen Einrichtungen. Die Beförderung der Kohlen von der Banse zur Bühne und von da zu den Tendern geschieht bei geringem Bedarf wohl noch mittels Körbe, die mit Hand oder Wippsbaum hinaufgehoben und auf die Tender von Hand oder durch Schüttrinnen entladen werden. Kohlenbühne (etwa 3 m breit) liegt etwa 2 bis 2,5 m über S.-O. zwischen der Kohlenbanse und dem Lokomotivbekohlungsgleise. Länge der Bühne nach Bedarf zur Aufstellung gefüllter Körbe oder eiserner Behälter. Inhalt eines Korbes 50 kg; an deren Stelle bei mittleren und größeren Anlagen auf Schmalspurgleisen laufende Kohlenwagen („Hunde“) mit 500 oder 1000 kg Inhalt. Sie werden mit Drehkränen auf die Bühne gehoben und durch Schüttrinnen entleert oder besser mittels Tragbügel über den Tender gehoben und ausgekippt. Antrieb der Krane am zweckmäßigsten elektrisch; seltener von Hand oder durch Druckwasser.

Bei großem Kohlenverbrauch sind mechanische Bekohlungsanlagen am wirtschaftlichsten. 1. Vollbahnselbstentladewagen werden mit Lokomotiven auf Rampe über Hochbehälter geschoben oder durch Seil auf die Hochbahn gezogen und dort entladen (große Längenausdehnung); 2. Wagen werden zu ebener Erde in Schütttrümpfe durch Selbstentladung oder mittels Kohlenkipper entleert und die Kohlen durch Becherketten in Hochbehälter gefördert (Huntsche Verladeeinrichtung), aus denen Schüttrinnen sie — meist nach Wägung oder Messung — auf die Tender befördern (Saarbrücken, Grunewald*) u. a. m.). 3. Um das Umladen vom Lager in die Hochbehälter und die damit verbundene Zerkleinerung der Kohlen zu vermeiden, auch fahrbare Portalkrane, die den Kohlenlagerplatz bestreichend, mittels Greifer aus den eingehenden Wagen die Lokomotiven bekohlen, die Kohlen auf Lager geben oder vom Lager den Lokomotiven zuführen [Mannheim,**] Frankfurt a. M.]. 4. Wo die Geländeverhält-

*) Harprecht, Mechanische Lokomotivbekohlungsanlagen mit Angaben über Bekohlungszeiten und -kosten; Gl. A. 1906, I, S. 184. Ueber Bekohlungszeiten und -kosten s. ferner Zimmermann, O. f. F. 1910 S. 265.

**) Zimmermann empfiehlt auf Grund von Betriebsergebnissen, Bekohlungsanlagen ähnlich der in Grunewald, aber mit Doppelaufzug, zu verwenden. (O. f. F. 1910 S. 265.)

nisse es zulassen, auch tief liegende Bekohlungsgleise und hochliegende Lager, so dafs Schmalspurwagen vom Lager an die Schüttrinnen gefahren werden und ihren Inhalt durch drehbare Kopfwände auf die Tender entleeren.

Verbrennungsrückstände und ihre Verwertung. Schlacken und Aschenteile bei Bahnunterhaltung, zu Drainierungen, Befestigung von Landwegen, für Bürgersteige und zur Anfertigung künstlicher Steine oder dergl. Rauchkammerlöschke enthält je nach der verwendeten Kohle 6070 bis 6200 Kal. (bei schlesischer Kohle), 5150 bis 5200 Kal. (bei Ruhrkohle), 3850 bis 4520 Kal. (bei Saarkohle).*) Gemischt mit Kohlen unter stehenden Kesseln (mit Unterwind), verfeuert ohne besondere wirtschaftliche Vorteile; neuerdings in Sauggasgeneratoren (Pintsch) vergast. (Sauggas \cong 1100 Kal/cbm), Königsberg, Insterburg usw. Neben den Reinigungsgruben der Lokomotivschuppen (s. dort) sind hinreichende Lagerplätze vorzusehen. Bei großen Anlagen, besonders in Amerika, auch mechanische Einrichtungen zur Fortschaffung der Rückstände in Verbindung mit den Bekohlungsanlagen.

m. Einrichtungen für die Behandlung der Fahrzeuge.

1. Lokomotivschuppen.)** (T. V. § 60. A. f. S. § 12).

Die **Lage der Lokomotivschuppen** ermögliche bequeme Verbindung namentlich mit den Halteplätzen der Personenzüge ohne Störung des Verkehrs; nur in besonderen Fällen neben diesen kurze Lokomotiv-Wartegleise, da bei der zulässigen Dienstdauer der Lokomotivmannschaften tägliches Warten vieler Lokomotiven die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt. Deshalb sollen auch die Lokomotiven bei Fahrten zu und von Schuppen sowie bei Wasser- und Kohlennehmen sich gegenseitig nicht behindern. Daher Ein- und Ausfahrtsgleise getrennt, bei großen Anlagen je doppelt vorsehen. Reinigungsgruben, Wasserkrane, Bekohlungsanlagen derart, dafs Ausschlacken und Versorgen mit Vorräten möglichst ohne Wechsel der Fahrtrichtung erfolgen kann. Anlage auf der Seite der Hauptgleise, wo die meisten Lokomotiven umgewechselt werden. — Möglichst in Verbindung mit dem Lokomotivschuppen: Aufenthalts-, Uebernachtungs- und Baderäume für Lokomotivmannschaften sowie Räume für Vorräte und Geräte. Auch Betriebswerkstätten für nicht zu umfangreiche Ausbesserungen, Auswechslung von Achsen u. dergl.

Der **Zweck der Lokomotivschuppen** ist, die Lokomotiven während der Ruhezeit vor der Witterung zu schützen; ihre Reinigung, Untersuchung und Instandsetzung zu erleichtern und sie für die Dienstleistung vorzubereiten. In Amerika dienen die Lokomotivschuppen fast ausschließlich zur Vornahme der Ausbesserungen; betriebsfähige Lokomotiven stehen — für Güterzugdienst meist angeheizt — im Freien. Je zweckmäßiger die Schuppenanlagen, desto kürzer die Wendezeit der Lokomotiven. Daher Einrichtung je nach den Betriebsverhältnissen; bei größeren Bahnhöfen Trennung der Schuppenanlagen für Personen- und

*) Zeitung des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen 1907 S. 1134.

) S. Grundsätze für das Entwerfen und den Bau von Lokomotivschuppen (in Preussen) Eisenb.-Verordn.-Bl. 1908 S. 29 u. f., dafür die Abkürzung **Gs. L. und Cornelius, Das Entwerfen und der Bau von Lokomotivschuppen.

Güterzuglokomotiven zweckmäfsig. Im allgemeinen **Anzahl und Gröfse** derart, dafs etwa 75 vH aller Betriebslokomotiven, bei Bahnen ohne Nachtdienst alle Lokomotiven Unterkunft finden.

Gestalt: Grundrifsform ist in erster Linie durch den verfügbaren Platz, die Verbindung mit den Betriebsgleisen unter Berücksichtigung der Lokomotivzahl und der zu erwartenden Erweiterung zu wählen. Rechteckige Schuppen — bei grofser Standzahl mit Schiebebühnen im Inneren (Drehscheibe aufserhalb des Schuppens) sind, da die bebaute Fläche für einen Stand am kleinsten ist, im allgemeinen am billigsten; sie erfordern geringe Unterhaltungskosten. Nachteil ist das zeitraubende Aus- und Einfahren der Lokomotiven, das mit der Länge der Aufstellungsgleise und der Zahl der aufgestellten Lokomotiven wächst. Anordnung der Rauchabzüge schwierig, besonders bei Lokomotiven verschiedener Länge. (In England daher häufig besondere Rauchfangtröge). Drehscheibe wird nur bei ausschließlicher Verwendung von Tenderlokomotiven entbehrlich. Rechteckige Schuppen sind am leichtesten zu erwärmen, runde wegen grofser Höhe weniger leicht, ringförmige wegen der vielen Tore am schwersten. Trotzdem ist wegen Erweiterungsfähigkeit bei gleichzeitig bequemer Zukömmlichkeit die Ringform am meisten beliebt, u. zw. in der Regel mit besonderem Tore für jedes Gleis. Die zeitweise bevorzugte Ringform mit zwei im Tore verschlungenen Gleisen [Frankfurt (Main) u. a.] verlangt erhebliche Vergrößerung der Tiefe (um 4 bis 5 m) und sehr weite Tore (7,4 m) und ist daher teuer.

Innere Länge bei einer Lokomotivlänge von 1 m (in Deutschland 1 in der Regel bis 19 m, für die 4- und 5achsigen Schnell- und Personenzuglokomotiven mit Tender neuerdings bis 22 m, 17 m für 3achsige Schnellzug- und für Güterzuglokomotiven) für einen Stand $1 + 4$ m; für zwei Stände hintereinander $21 + 4,6$ m; für drei Stände $31 + 5,2$ m. Mehr als zwei Stände auf einem Gleise erfordern beiderseitigen Zugang. Da aufzustellende Lokomotivgattungen mit dem Verkehr sich schnell ändern können, soll Schuppenanlage nicht zu sehr an bestimmte Gattungen gebunden werden.

Innere Weite: Wandabstand von Gleismitte $\geq 3,5$ m. Gleisabstand von Mitte zu Mitte 5,0 bis 5,5 m ($\geq 4,7$ m ohne Zwischenstützen). Für jede Lokomotive ist so viel Raum vorzusehen, dafs an ihr allseitig bequem gearbeitet werden kann (T V. § 60). — Bequemes Auswaschen, Einziehen von Siederohren, geringes Vor- und Zurückschieben der Lokomotiven mufs sich vornehmen lassen.

Ueber Schiebebühnen soll zwischen den Dachstützen $\geq 18,5$ m Länge frei bleiben. Derselbe Raum mufs bei Kreisform über der Drehscheibe frei bleiben. Schnellzuglokomotiven erfordern Drehscheibendurchmesser von 20 m und entsprechend lange Schiebebühnen.

Tore $\geq 4,80$ m hoch über S.-O., Lichtweite (T V. § 60 u. Gs. L. 13) $\geq 3,35$ m, bei Neubauten aber $\geq 3,80$ (BO. § 117). T V. empfehlen bei Neubauten 4,00 m. Der Lichtweite 3,35 m entspricht bei Ringform ein Abstand der Gleisachsen in der Torflucht von mindestens 4,15 m bei gemauerten Pfeilern und von mindestens 3,65 m bei Pfeilern aus Walzeisen. Bei 4,00 m Torbreite erhöhen sich diese Abstände also um etwa 0,65 m. Tore meist mit Oberlicht versehen, schlagen nach aufsen auf und sind gegen Zuschlagen durch Windstöße gut zu sichern.

Hölzerne Tore mit Eisenverstärkung zweckmäßiger als eiserne; Beschaffung zwar teuer, Unterhaltung aber billiger. Wenigstens in den beiden äußeren Toren sind Schlupftüren 0,8 bis 1,0 m breit vorzusehen.

Rauchfänge, aus Blech (rostet leicht) oder Gulseisen, seltener Tonrohre mit Schmelzüberzug, von (0,3 bis) 0,5 m Dmr., rd. 4,5 bei 23 m und 4 m bei 21 m Standlänge von einem Ende jedes Standes, entsprechend der Stellung der Lokomotiv-Schornsteine, an dem Dachbau zu befestigen; um bei jeder Windrichtung zu wirken, müssen sie über Dachfirst reichen. Vereinigte Rauchableitung durch einen in oder an der Wand liegenden oder am Dache aufgehängten (oder im Fußboden angeordneten, Rothensee bei Magdeburg) Sammelkanal mit Zuführungsröhren von den Rauchfängen und Einmündung in einen 35 bis 40 m hohen Schornstein (bei 1,25 m oberer Lichtweite für 14 bis 16 Stände ausreichend) hat sich bewährt (Aachen, Berlin Anh. Pfh.). Sie macht einen Teil der Dunstabzüge, u. Umst. auch weitere Heizvorrichtungen entbehrlich. T V. empfehlen gemeinsame Rauchabführung, wo auf Verminderung der Rauchbelästigung Wert gelegt werden muß. — Holzteile des Daches in der Nähe der Lokomotiv-Schornsteine $\geq 5,80$ m über S.-O. (T V. § 60). Zweckmäßig ist, die Rauchfänge mit festen Seitenwangen (4,15 m über S.-O.) und beweglichen Querwänden zu versehen, so daß diese den Schornstein der Lokomotive nach der Einfahrt ganz umschließen. Rauchfänge ohne bewegliche Teile $\geq 4,3$ m über S.-O. Statt der Rauchfänge neuerdings auch trichterförmiger, nach den beiden Seiten senkrecht zum Gleis auseinanderklappbarer Abschlufs der Rauchröhren, der den Schornstein der Lokomotiven dicht umschließt (Bauart Fabel-München). In den Rauchfängen sind Abschlusklappen zweckmäßig — bei Sammelableitung erforderlich —, um Entweichen warmer Luft im Winter zu verhindern.

Dunstabzüge ≥ 10 bis 15 qm Luftgitterfläche für jeden Stand bei schlechter Rauchabführung.

Arbeitsgruben im Inneren der Schuppen 0,85 bis 1 m tief unter S.-O. und 1,1 bis 1,2 m breit, für jeden Stand in ganzer Länge der Lokomotive mit Tender, mit 0,5 m über die Lokomotivlänge hinausragenden Treppenstufen; zu entwässern durch Längsgefälle oder besser durch Quergefälle mit seitlicher Längsrinne nach einem Kanal, der zweckmäßig im Inneren des Schuppens quer vor den Gruben liegt und zugänglich (z. B. mit Eisenplatten abgedeckt) ist. Zweckmäßig 0,6 m unter S.-O. ein Absatz von 10 bis 15 cm Breite zum Auflegen von Standbohlen beim Arbeiten an höheren Lokomotivteilen.

Bei Sammelheizung sind Längsseiten der Gruben in ihrem unteren Teile mit beiderseitigen Aussparungen von 0,4 m Höhe und 0,1 m Breite zur Unterbringung der Heizrohre zu versehen.

Beleuchtung durch große Fenster (bis nahe zum Fußboden herab); erforderlichenfalls außerdem Oberlicht. Lichteinfall (Fensteröffnungen) am besten zwischen den Gleisachsen. Verkehrswege sind bei Dunkelheit dauernd zu beleuchten, Steckdosen oder Gashähne vorsehen. — Künstliche Beleuchtung vrgl. II. Bd. S. 834.

Heizung durch Oefen (u. Umst. bewegliche); bei großen Anlagen Sammelheizung, wenn Dampfkesselanlage vorhanden ist oder Lokomotiven Dampfheizeinrichtung haben, die dann bei aus dem Dienst

kommenden Lokomotiven anzuschließen ist, so daß besondere Kesselanlage entbehrlich, bei guter Sammelrauchabführung Heizung oft nicht erforderlich, wenn die Rauchabzugkanäle im Schuppen frei geführt werden. Luftheizung (Sturtevant) in Amerika häufig.

Fußboden aus Klinkerpfaster, natürlichen Steinen oder Zementbeton; Asphalt nicht ratsam. Am besten in Höhe der S.-O., mit Entwässerung unter den Schienen hindurch, indem zwischen Schiene und Pflaster ein schmaler Zwischenraum gebildet wird. Holzfußboden, wo Werkbänke aufgestellt sind. Bei größeren Schuppen besondere Fundamente für Hebeböcke.

Wasserzuleitung mit reichlichem Druck zweckmäßig im Entwässerungskanal angebracht, zum Auswaschen und Wiederauffüllen der Lokomotivkessel; Zweigrohre von 6 bis 7 cm Dmr. zu den Schlauchhähnen (Unterflurhydrant in abgedeckter Grube), von denen mindestens einer zwischen zwei Gleispaaren angebracht wird (Gs. L. 22), Trinkwasseranschlüsse, Waschbecken.

Dampf- oder Heißwasserleitungen zweckmäßig, um Wasser aus den abzukühlenden Lokomotiven in Behälter zu sammeln und Speisewasser vorzuwärmen, zum Auswaschen der Kessel und schnellen Wiederauffüllen und Unterdampfsetzen der Lokomotiven.

Auswascheinrichtungen.*) Warmauswaschen der Lokomotiven behufs Schonung der Kessel besonders da erforderlich, wo Lokomotiven bald wieder dienstbereit sein müssen. Nach dem Auswaschen ist Kessel mit warmem Wasser zu füllen, wenn keine Zeit zu vollständigem Abkühlen vorhanden ist. Auswaschfristen je nach den Wasserverhältnissen und der Lokomotivbeanspruchung etwa 5 bis 20 Tage. Für das Auswaschen sind mindestens 10stündige Pausen erforderlich (5 st für die Zeit zum Erkalten, 3 st zum Auswaschen und 2 st zum Wiederaanheizen). Wasserdruk für das Auswaschen bei 5 bis 10 cbm Wasserverbrauch $1\frac{1}{2}$ bis 5, vereinzelt bis 8 at. Zum Warmauswaschen ist die Anlage einer am Dachstuhl aufgehängten, isolierten Dampfleitung zweckmäßig, von der senkrechte Abzweigrohre nach den zwischen den Ständen befindlichen Hydranten mit Mischdüsen führen, an die Ausspritzschläuche angeschlossen werden. Auch Dampfstrahlspritzen bewährt. Den Dampf liefert Kesselanlage oder Lokomotive. Nach Wittenberg-Schilhan wird das Tenderwasser der auszuwaschenden Lokomotive durch den Lokomotivdampf erwärmt und mit Hilfe von fahrbarer Pumpe zum Auswaschen verwendet; der Kessel wird mit dem übrigen warmen Tenderwasser durch die Pumpe wieder gefüllt.

Druckluftleitungen erforderlich, um Siede- und Rauchrohre durch Ausblasen zu reinigen. (TV. § 60.) Bei größeren Lokomotivschuppen Aufstellung von Druckluftpumpen nebst ausreichenden Druckluftbehältern. Druckluftleitung zwischen je zwei Ständen mit einem Abzweigrohr mit Absperrhahn und Schlauchkupplung. Bei kleineren Schuppen Druckluft von Lokomotive entnommen. Mit Druckluft ist Reinigung der Heizrohre in kürzerer Zeit und gründlicher ausführbar als mit den üblichen Hand-

*) Bulletin des intern. Eisenbahn-Kongress-Verbandes 1909 S. 60 u. 560 über Behandlung der Lokomotiven auf Endbahnhöfen und die beste Art des Auswaschens.

Geräten (eiserne Stangen am vorderen Ende mit Werg, Hanf oder Putzwollballen, bei festem Rufs auch mit Schnecken versehen).

Anheizvorrichtungen. Auf größeren Lokomotivstationen Anheizöfen. In den Dampf- und Druckluftleitungen sind überdies Stutzen für den Anschluss von in den Schornstein der Lokomotiven zu hängenden Hilfsbläsern vorzusehen. Dauer des **Anheizens** 2 bis 4 st.

Hebevorrichtungen für schwere Lokomotivteile; an den Arbeitsgleisen Krane, z. B. auch zum Verladen der Achsen. Ausserdem Lokomotivhebeböcke und Winden erforderlich. **Achssenken**, Achswechselgruben bei 15 und mehr Ständen empfehlenswert. Anordnung in zwei nebeneinanderliegenden Ständen in einem etwa 2,8 m breiten, unter diesen durchgehenden Kanal. Lage der Grube so, dass möglichst sämtliche Achsen der Lokomotive bei geschlossenen Toren nachgesehen werden können; bei geöffneten Toren ringförmiger Schuppen dürfen jedenfalls auch bei äusserster Stellung der Lokomotive über der Achswechselgrube die benachbarten Gleise nicht gesperrt werden.

Sandtrockenöfen für den Sand der Lokomotivsandstreuer (Sand möglichst lehmfrei und gut gesiebt). Trockenöfen, z. T. mit Sieben verbunden, bestehen aus der Feuerung, der Trockenplatte und dem Rauchabzug. Sandschuppen von 6 bis 12 cbm Inhalt (= 1 bis 2 Wagenladungen). In Amerika Sandhäuser an den Schuppeneinfahrtgleisen aufgestellt, von wo der Sand unmittelbar in die Lokomotivsandkästen geleitet werden kann.

Sonstige Ausstattung. Werkbänke mit Schraubstöcken, fahrbare Schraubstöcke und Feldschmieden; Trockeneinrichtungen, Schlauchrinnen u. dgl. zum Aufbewahren der Schläuche; Wandhaken für die Rohrreinigungsgeräte; eiserne Deckelkasten für gebrauchte Putzwolle; Bänke und Tritte, Schleifstein; verschließbare Kleiderschränke.

Nebenanlagen. Ausserhalb des Schuppens sind an der Einfahrt, bei Ringschuppen aber vor der Drehscheibe Löschruben, Wasserkran, Vorrichtungen zum Verladen und Nässen der Kohlen und Gasfüllständer anzuordnen. Die **Löschruben** sind so anzulegen, dass die Untersuchung, das Ausschlacken, Bekohlen und Wassernehmen der Lokomotiven möglichst gleichzeitig erfolgen kann (also der Wasserkran etwa 13 bis 18 m hinter dem vorderen Ende der Grube). Bauart der Löschrub- oder Reinigungsgruben in Mauerwerk oder Eisen; 0,6 bis 1 m tief (TV. § 45 u. 60) und 1,2 m breit. Der Boden der Grube (unter dem Lokomotivschkasten) ist mit feuerfesten Steinen auszusetzen oder mit gufseisernen Platten zu belegen. Gute Entwässerung ist dringend nötig (TV. § 45 u. 60). In Amerika Sohle oft quergewölbt, in der Mitte am höchsten, um bei Arbeiten trocknen Stand zu gewährleisten. Mit abnehmbarem Gitter verdeckte gute Schlammfänge erforderlich. Grubenlänge gleich Pufferentfernung der längsten Lokomotive einschl. Tender 12 bis 20 m, u. U. auch mehr; bequeme Zugänglichkeit der Grube durch Treppen oder Rampen erforderlich; am besten beiderseits. — Die Lagerplätze für Schlacke und Lösche sind mit 0,40 bis 0,50 m hohen eisernen Umfassungswänden z. B. aus altem Oberbaumaterial abzuschliessen. Für das Ablöschen sind an den Löschruben Wasserpfeifen vorzusehen. Für größere Lokomotivstationen Anlage von Rampen, Aufzügen, Becherwerken zum leichten Verladen der Schlacken usw.

Abort-, Wasch-, Bade-, Aufenthalts- und Uebernachtungsräume (bei größeren Anlagen getrennt für die Lokomotivbeamten, Werkstattarbeiter, Putzer und Kohlenlader), Diensträume für das Aufsichtspersonal, Unterrichtssaal, Werkstatt, Magazin- und Ausgaberaum, Lagerkeller für Schmier- und Brennöle usw. sind in Nebenbauten unterzubringen. Für Reiserwellen zum Anheizen Schuppen mit Lattenwänden.

2. Wagenschuppen.

Aufstellung der Personenwagen im Schuppen zum Schutz gegen die Witterungseinflüsse usw. oder zur Reinigung, zu laufenden Untersuchungen und Ausbesserungen. Daher bei größeren Anlagen meist Betriebswerkstätten.

Schuppen sollen so gelegen und eingerichtet sein, daß die darin aufgestellten Wagen den Zügen schnell beigestellt werden können (T.V. § 61). Gleismittenabstand nach T.V. nicht unter 4,4 m, besser 4,7 bis 5 m; Wandabstand von Gleismitte ≥ 3 m, um schnelles Reinigen zu ermöglichen. Schuppenanlage rechteckig. Standlänge bei einer Wagenlänge von l m für ein Fahrzeug $l + 2,5$ m; für zwei $2l + 3$ m; für drei $3l + 3,5$ m. Wagenlänge einschl. Puffer

bei dreiachsigen Abteilwagen	12,0 bis 13,50 m
bei vierachsigen "	18,5 " 18,75 "
bei vier- und sechsachsigen D-Zugwagen	19,6 " 20,00 "
bei sechsachsigen Schlafwagen	20,5 m.

Gleise gleichlaufend zu den Schuppenlängswänden, um möglichst die geschlossenen Züge in die Schuppen stellen zu können. Verbindungen der Gleise durch Weichen vor und hinter den Schuppen. In ganzer Länge der Schuppengleise Reinigungsgruben. Tore wie bei Lokomotivschuppen. Höhe der Schuppen, daß Begehen der Wagendächer möglich (≥ 6 m). Fußboden möglichst staubfrei und gut zu entwässern; Waschröge aufsen neben den Gleisen, mit genügender Anzahl Wasserpfeifen zu speisen. Gute Tages- (tief herabreichende Fenster) und Nachtbeleuchtung erforderlich; Steckkontakte oder Gasschlauchhähne für Handlampen. Gute Lüftung, ausreichende Heizung; die Heizungsanlage diene gleichzeitig zum Prüfen der Wagenheizung und zum Vorheizen der Züge. Besondere Vorheizkesselanlagen zweckmäßig, bei ausgedehnten Anlagen mit Ueberhitzung des Dampfes. Gasleitung mit Gasfüllständer zum Füllen der Wagengasbehälter. Prefsluftanlage zum Prüfen der Bremsrichtungen und Reinigen der Wagen.

Schuppen für selten benutzte Wagen (Hof- und Salonwagen) können abweichend von vorstehenden Angaben angelegt werden.

Nebenanlagen sind in entsprechendem Umfange wie bei Lokomotivschuppen anzulegen (Aufenthaltsräume, Werkstätten, Aborte usw.).

Gasversorgung der Personenwagen. Beleuchtung der Personenwagen mit Gas — meist Fettgas — vorherrschend.

Von den Gassammelbehältern führen die Gasleitungen zu den Füllanlagen auf den Abstellbahnhöfen. Bei sehr großer Rohrlänge werden zweckmäßig Unterbehälter in Nähe der Hauptverbrauchsstellen aufgestellt. Die Leitungen endigen in Gasfüllständern, die zwischen den Gleisen in solchen Entfernungen voneinander aufgestellt werden, daß ohne Ver-

schiebebewegungen mit dem 10 bis 20 m langen Füllschlauche gefüllt werden kann. Füllschlauch erhält Mundstücke nach T.V. § 138 Bl. XX. Da die Gasbehälter der Fahrzeuge mit Gas von 6 at Ueberdruck zu füllen sind (1 at genügt für eine Brenndauer des Wagens von 3 bis 4 st), muß an den Fülländern 7 bis 8 at Druck vorhanden sein. Im Hauptsammelkessel des Verteilungsgebietes 9 bis 10 at Druck. Die Leitungen sind mit Rücksicht auf eine Verbrauchssteigerung und ungleichmäßige Entnahme reichlich zu bemessen.

Bei kleinerem Bedarf (keine Gasanstalt am Ort) wird Gas aus Gaskesselwagen entnommen; Wagen mit einem, zwei oder besser drei Behältern mit Gas von 10 bis 12 at Ueberdruck. Um Gaswagen gut auszunutzen, ist das Gas zunächst nur aus einem Behälter zu nehmen; ist Druck unter 6 at gesunken, ist aus dem zweiten nur nachzufüllen und schließlich mit dem dritten Behälter nachzufüllen, wenn der Druck in den beiden anderen schon sehr stark gesunken ist.

Reinigung der Personenwagen erfolgt täglich an den Zugbildungsstellen, außerdem gelegentlich des Aufenthalts in den Werkstätten von Hand und mittels mechanischer Staubabsaugung. Der Unterdruck wird durch besondere Saugpumpenanlage — Kolbenpumpen, Kreiselluftpumpen, bei kleinen Verhältnissen auch Dampfstrahlsauger — oder durch Druckluftpumpen (Ejektorwirkung) erzeugt.

Bei zentraler Staubabsaugung ist die größte Länge der Leitungen 200 m. Druckluftanlagen in Verbindung mit Prefsluftsaugern sind zweckmäßig, da Druckluft ohnehin für Bremsprüfung usw. erforderlich ist.

Dauer der Reinigung eines Polsterabteils*) von Hand 40 bis 45 min; durch Blasen und Saugen etwa 20 min.

Ueber Reinigung von Ungeziefer und Desinfektionseinrichtungen s. u. Abschn. III. Werkstättenanlagen.

Reinigung der Güterwagen. Nach jedesmaligem Gebrauche sind einer Reinigung und Desinfektion zu unterziehen: Wagen, in denen lebende Tiere, fäulnisfähige tierische Abfälle in losem Zustande oder Stalldünger befördert worden sind. Verschärfte Desinfektion bei Wagen mit Klauenviehsendungen aus verseuchten Gegenden. Die einfache Desinfektion wird nach gründlicher Reinigung (mit heißem Wasser) auch aussen durch Waschen mit einer auf mindestens 50° C erhitzten Sodalaug (2 kg Soda auf 100 l Wasser) bewirkt. Bei verschärfter Desinfektion ist das Wageninnere hiernach außerdem mit einer 3 vH-Lösung von Kresolschwefelsäuremischung oder ähnlichen Mitteln zu bepinseln. Auch die Gerätschaften und Rampen müssen desinfiziert werden.

Auf kleinen Stationen Ausspritzen der Wagen durch die Dampfstrahlpumpen der Lokomotiven, auch Heizkesselwagen, auf größeren Stationen besondere Dampfesselanlagen.**). Um eine Durchtränkung des Bodens mit Seuchenerregern zu verhüten, sind die Reinigungsgleise mit undurchlässigem Boden zu umgeben. (Elektrisch angetriebene) Spills bewirken das Verschieben der Wagen. Große Schlammfänge sind neben ausreichenden Dunggruben erforderlich. Für Viehwagenwäschen mit ortsfesten Spritzeinrichtungen (bei täglich 10 oder mehr Wagen) ist Ver-

*) Guillery, Staubsauger, Glaser 1906 I S. 214 u. f.

**) Richter, Ueber Viehwagenwäschen, Organ 1909 S. 274 u. f.

brennung aller Abgänge vorteilhaft. Aufenthaltsraum für die Arbeiter, Geräte- und Kleiderraum erforderlich.

3. Betriebswerkstätten.

Betriebswerkstätten in der Nähe der Lokomotiv- und Wagenschuppen Ausrüstung derart, daß in ihnen alle laufenden kleinen Ausbesserungen an den Fahrzeugen ausgeführt werden können. Daher außer Drehbänken, Bohrmaschinen, Lochstanze mit Schere, Hobelmaschinen, Kreissäge, Schleifsteinen, auch Räderdrehbänke oder wenigstens Achsschenkelbänke. Die Werkzeugmaschinen in besonderem Raum — nicht im Lokomotivschuppen — aufstellen. Antrieb elektrisch. Bei größeren Betriebswerkstätten werden die Schlosserei, Schmiede, Stellmacherei und Klempnerei zweckmäßig in besonderen, zusammenhängenden Räumen untergebracht. Vorrat an Ersatzteilen aller Art, besonders an Achsen erforderlich. (Achssenken s. Lokomotivschuppen.)

Für Güterwagenausbesserung sind einfache, geschlossene Hallen zweckmäßig. In Betriebswagenwerkstätten sind Räume für Glaser und Sattler vorzusehen. Für Bezirke mit starkem Schlaf- und D-Wagenverkehr ist Anlage von Dampfwäschereien empfehlenswert.

Wenn die Nebenmagazine nicht in der Nähe der Lokomotiv- oder Wagenschuppen liegen, sind besondere Verbrauchsstellen mit den erforderlichen Räumen für die Unterbringung und Verausgabung der Betriebsmaterialien und Vorratsstücke einzurichten.

Für die Schmierstoffe empfiehlt sich vielfach die Anlage von Lagerkellern mit Vorrichtungen zum leichten Einbringen der Fässer. Feuerpolizeiliche Vorschriften sind zu beachten.

4. Wagenumsetzeinrichtungen.

Um Umladen zu ersparen, werden normalspurige Güterwagen beim Uebergang auf Schmalspur auf 2- (oder 3-)achsige „Rollböcke“ gesetzt.

Für das Uebertühren der regelspurigen Güterwagen auf russische Spur (1524 mm) sind Rollböcke nicht anwendbar, dafür Umsetzvorrichtung nach Breidsprecher.

5. Eisenbahnwägeeinrichtungen.

Nach TV. § 57 sind, wo der Güterverkehr es erfordert, von Lokomotiven befahrbare **Brückenwagen** (Gleiswagen) außerhalb der Hauptgleise mit selbsttätiger Signalvorrichtung anzulegen.

Wagen mit Gleisunterbrechung dürfen von Lokomotiven nicht befahren werden; daher nur dort ausgeführt, wo auch Straßenfuhrwerk gegenwärtig wird.

Die größte zulässige Last der Zentesimalwagen etwa 25 bis 30 t, bei großer Länge bis 50 t. Länge 6 bis 12 m. Durchgehendes Gleis muß der Lokomotivbelastung entsprechen. Wiegepostament zum Schutze gegen Witterungseinflüsse gut umkleidet, meist mit Häuschen umbaut. Grundfläche ≥ 2 auf 3 m. Brückengrube — leicht besteigbar — erhält meist guß- oder schmiedeiserne Einfassung. Für gute Entwässerung ist zu sorgen.

Zur Bestimmung des **Raddrucks** von Eisenbahnfahrzeugen Ehrhardsche Wagen (ungenau, in Bauart Dopp-eichfähig) oder eichfähige Brückenwagen

besonderer Bauart, die auf besonderem Bett verschiebbar unter die einzelnen Achsen gesetzt werden (Schenk, Zeidler, Spiels u. a.).

6. Hilfszüge.

Neben Rettungsmitteln in den Zügen Rettungskasten, Tragbahre usw. u. U. in besonderem Rettungszimmer auf den Bahnhöfen. **Hilfszüge** bestehen aus Arztwagen, Gerätewagen und bisweilen noch Mannschaftswagen, fahrbarer Kran; Hilfsgerätewagen auf Zwischenstationen. Verteilung der Hilfszüge auf den Strecken und Aufstellung auf den Bahnhöfen derart, daß sie in kurzer Zeit und ohne große Verschiebungen mit Mannschaften aus den Lokomotivschuppen oder Werkstätten (Alarmläutwerk) an die Unfallstelle gebracht werden können. Gerätewagen enthalten die zum Aufgleisen entgleister, zum Beseitigen zertrümmerter Fahrzeuge und zum Wiederherstellen der Gleise notwendigen Werkzeuge. Im Arztwagen Operationsraum und Krankenraum (8 Betten).

II. EISENBAHN-FAHRZEUGE.

(Die bindenden Vorschriften der TV. sind im folgenden durch einen Stern (*) hervorgehoben.)

A. Allgemeines.

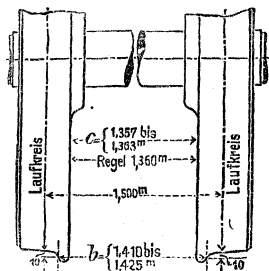
a. Räder und Achsen (Radsätze).

1. Größter ruhender Raddruck s. S. 778.

2. **Spurkränze.** Die Räder müssen Spurkränze haben. Sind aber drei oder mehr Achsen in demselben Rahmen gelagert, so können die Spurkränze unverschiebbarer Räder weggelassen werden, wenn diese unter allen Umständen eine genügende Auflage (45 mm auf den Schienen finden. (B. O. § 30 u. 31) vgl. S. 795. Höhe der Spurkränze darf bei $s = 1,435$ m Spurweite über den mittleren, 750 mm von der Mitte der Achse entfernt anzunehmenden Laufkreisen der Räder (s. Abb. 84) nicht weniger als 25 mm und auch bei größter Abnutzung der Radreifen nicht mehr als 36 mm betragen (B. O. § 31; T. V.* § 69; T. E. § 6). Bei ungleicher Abnutzung der beiden Spurkränze einer Achse muß die Stärke des am meisten abgenutzten Spurkränzes, gemessen 10 mm außerhalb des Laufkreises, noch mindestens 20 mm betragen (B. O. § 31; T. V.* § 69).

Spielraum der Spurkränze im Gleise (nach Gesamtverschiebung der Achse gemessen) darf bei $s = 1,435$ m nicht unter 10 mm und auch bei der größten zulässigen Abnutzung der Spurkränze nicht über 25 mm betragen; demgemäß die Entfernung von Außenkante zu Außenkante

Abb. 84.



der Spurkränze (gemessen 10 mm außerhalb der in einer Entfernung von 1500 mm voneinander anzunehmenden Laufkreise der beiden Radreifen, s. Abb. 84) $b = 1,410$ bis $1,425$ m (B. O. § 31; T. V.* § 70). T. E. § 5 schreibt für $b = 1,425$ bis $1,405$ m vor. — Für die Mittelräder von Fahrzeugen mit 3 und mehr in einem gemeinsamen Rahmen gelagerten Achsen ist, wenn sie überhaupt mit Spurkränzen versehen sind (bei $c = 1,360$ m), ein Gesamtspielraum bis 40 mm zulässig (B. O. § 31; T. V.* § 70).

3. Radreifen aus Flußstahl, für Lokomotiven meist Tiegelstahl.

Breite 130 bis 150 mm (B. O. § 31; T. V.* § 68; T. E. § 4). Für vorhandene Güterwagen ist nach T. E. § 4 bei $c = 1,360$ m statt 130 noch 125 mm zulässig (s. Abb. 85).

Auf Lokalbahnstrecken sei die Radreifenbreite ≥ 120 mm bei $s = 1,435$ m und $c = 1,360$ m; ≥ 100 mm bei $s = 1,435$ m und $c = 1,390$ m (enge Spurrinne bei Straßenbahnen); ≥ 110 mm bei $s = 1,00$ m; ≥ 100 mm bei $s = 0,75$ m; ≥ 90 mm bei $s = 0,60$ m. Dabei der Gesamtspielraum der Spurkränze bei Vollspur 5 bis 25 mm, bei Schmalspur höchstens 20 mm (Grz. § 43).

Lichter Abstand der Räder einer Achse: $c = 1,360 \pm 0,003$ m; T. E. § 3 gestattet $c = 1,357$ bis $1,366$ m.

Geringste zulässige Stärke der Radreifen in der Laufkreisebene $i = 25$ mm (B. O. § 31; T. V.* § 68. T. E. § 7); beim letzten Abdrehen soll $i \geq 30$ mm sein (T. V. § 68); dabei müssen Radreifen, deren Querschnitt durch eine unter der Spurkranzhohlkehle liegende Befestigungsnut geschwächt ist, an der geschwächten Stelle bei größter Abnutzung noch ≥ 20 mm stark sein.

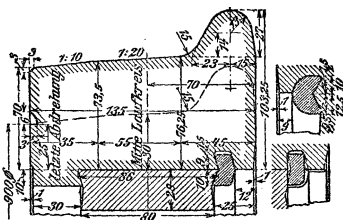
Bei Lokalbahnstrecken mit $s = 1,435$ m für Lokomotiven und Tender $i = 20$ mm, für Wagen $i = 16$ mm; bei $s \leq 1,00$ m für Lokomotiven und Tender $i = 12$ mm, für Wagen $i = 10$ mm.

Laufflächen nach T. V.* § 68 nach aussen hin kegelförmig; dort die üblichen Neigungen 1:10 und 1:20 empfohlen; bei Rädern ohne Spurkränze zylindrisch (T. V. § 69; Grz. § 43). Scharfkantige Eindrehungen sind bei den Reifen zu vermeiden.

4. Radkörper. Speichenräder (für Lokomotiven s. S. 908) für Wagen aus Flußstahl oder **Scheibenräder** aus Flußstahl oder Flußeisen gewalzt oder aus Flußstahl, Fluß- oder Gußeisen (Schalengufs) mit dem Radreifen in einem Stücke gegossen.

T. V.* § 65: Räder bremsbarer Achsen müssen mit aufgezogenen Reifen versehen sein. Radsterne oder Radscheiben sind aus Schweißstahl, Flußeisen oder Flußstahl herzustellen; Gußeisen ausnahmsweise für Naben oder ganze Radscheiben zulässig. Für nicht bremsbare Achsen sind auch Radscheiben aus Holz und in einem Stücke gegossene Flußstahlscheibenräder angängig. Hartgußräder (Schalengußräder) nur unter Güterwagen ohne Bremse verwendbar [bei $V \geq 45$ km/st, vgl. T. E. § 8]. Bei Lokalbahnstrecken sind einstückige Räder aus Gußeisen unter Bremswagen nur zulässig, wenn $V \geq 20$ km/st (Grz. § 42).

Abb. 85.



Der kleinste zulässige Durchmesser der Wagen- und Tenderräder soll nach B. O. § 31 einschl. Radreifenstärke 850 mm, nach T. V. § 66 einschl. Radreifenstärke 840 mm betragen (der in der Regel angewendete Durchmesser ist 1000 mm).

Für Befestigung des Radreifens auf dem Radkörper sind Befestigungsarten anzuwenden, die bei Reifenbruch Lösen des Reifens und Abfliegen einzelner Reifenstücke verhindern (T. V.* § 68); bewährt haben sich durchlaufende Befestigungen mit Sprengringen, Klammeringen usw. Schrumpfmals etwa $\frac{1}{1000}$.

Musterzeichnungen des Deutschen Staatsbahnwagenverbandes: Radreifen bei Wagen- und Tenderrädern 135 mm breit, s. Abb. 85; Stärke aller Radreifen 75 mm; der Sprengring entweder wulstförmig, aus vier Stücken, an den vier Stößen mit Einklinkungen versehen (System Bork), oder aus einem Stück, am meisten angewendet. — Bei Tenderrädern ist der Unterring (statt 80) 98 mm breit. — Radreifen der Lokomotiven sind 140 mm breit (die der Laufräder jedoch nur 135 mm); Unterring 103 mm breit.

Aufpressen der Wagenachsen mittels Wasserdruckes von 50 bis 80 t. — Die Räder werden genau ausgeglichen und müssen in unverrückbarer Lage gegeneinander auf der Achse festgestellt sein (T. V.* § 71). Scheibenräder erhalten für das Abdrehen in der Scheibe zwei Mitnehmerlöcher von 35 mm Durchmesser in 570 mm Entfernung.

Speichenräder müssen auf den Achsen eine solche Stellung erhalten, daß jede Speiche des einen Rades mit je einer Speiche des gegenüberstehenden Rades in einer Ebene liegt, damit beim späteren Auf- und Abpressen die Zugstangen der Druckwasserpresse bequem angebracht werden können.

5. Achsen der Wagen und Tender. Es bezeichne

P die auf die Achse einwirkende größte ruhende Belastung in kg,

D den Raddurchmesser im Laufkreise (Laufkreis s. S. 870),

a den Abstand der Laufkreisebenen,

e die Entfernung der Achsschenkelmitten voneinander,

h die Höhe des Wagenschwerpunktes über S.-O.,

d den Durchmesser des Achsschenkels,

l seine Länge, wobei $l = 1,75 d$ bis $2,25 d$,

d_1 den Durchmesser in der Nabe, gemessen in Laufkreisebene,

l_1 die Entfernung der Achsschenkelmitte von Laufkreisebene, alles in cm,

kb_s die zulässige Biegungsspannung im Achsschenkel in kg/qcm,

kb_n die zulässige Biegungsspannung in der Nabe in kg/qcm.

Die während der Fahrt auftretenden Seitenstöße, deren Größe bis $0,4 P$ geschätzt wird, verursachen auf der einen Seite der Achse eine Vergrößerung des Achsschenkeldruckes P_1 und des Raddruckes P_2 (in kg):

$$P_1 = 0,4 \frac{h - 0,5 D}{e} P \quad \text{und} \quad P_2 = 0,4 \frac{h}{a} P.$$

Es ist $d^3 = \frac{8}{\pi} \frac{l}{kb_s} P$ und $d_1^3 = \frac{16}{\pi} \frac{l_1}{kb_n} P$, worin nach B. O.

§ 32 u. T. V.* § 72 für Güterwagenachsen (nach Grz. § 44 für alle Wagenachsen) aus Flußstahl $kb_s \geq 700$, $kb_n \geq 560$ kg/qcm, aus Schweißstahl $kb_s \geq 590$, $kb_n \geq 470$ kg/qcm, ferner für Personen-, Gepäck- und Postwagen- und Tenderachsen aus Flußstahl $kb_s \geq 560$,

$k_{b_n} \geq 450 \text{ kg/qcm}$, aus Schweifseisen $k_{b_s} \geq 470$, $k_{b_n} \geq 380 \text{ kg/qcm}$ zu setzen ist. Sinkt d durch Abnutzung auch bei nur einem Schenkel unter das so berechnete Maß, so ist die Achse für Wagen mit entsprechend geringerer Achsbelastung zu verwenden oder außer Dienst zu setzen.

Der Abnutzung wegen werden neue Schenkel 5 bis 10 mm stärker gemacht, als vorstehend angegeben. — Der Flächendruck sollte bei Schnellzugwagen 20 kg/qcm nicht überschreiten.

Abb. 86.

An oder in den Naben keine Absätze; scharfe Absätze sind bei allen Achsen zu vermeiden (T. V.* § 74; Grz. § 44).

Wagenachse des Deutschen Staatsbahnwagenverbandes mit 1000 mm Laufrkreis-durchmesser für neue Wagen bis 20 t Ladegewicht s. Abb. 86. Die **Tenderachse** der preuß. Norm. stimmt mit der Wagenachse ziemlich überein. Die Wagenachsen sind in der Mitte 10 mm schwächer, die Tenderachsen sind zylindrisch. Achse des preussischen 30 cbm-Tenders Durchmesser in Schenkel, Nabe, Schaft 135, 200, 180 mm, Schenkellänge 250 mm, Entfernung der Lagermitteln 2106 mm, Nabe 180 mm lang, Dmr. 360 mm. — Jede Achse erhält zwei Körner von bestimmter Abmessung.

Gewicht eines Deutschen Staatsbahnwagenradsatzes: 1150 kg.

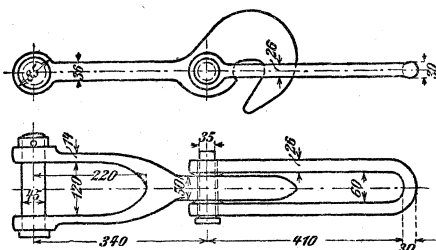
b. Zug- und Stofsvorrichtungen.

1. Die Lokomotiven mit Schlepptender müssen vorn, die Tender hinten, alle übrigen Fahrzeuge an beiden Enden mit federnden Zug- und Stossvorrichtungen versehen sein, deren Mitten 0,940 bis 1,065 m (bei Personenwagen mit Uebergangsbrücken mindestens 980 mm; T. V.* § 73) über S.-O. liegen müssen (B. O. § 33); zwei Wagen, die im Betriebe dauernd verbunden bleiben, gelten als ein Fahrzeug; für leere (neue) Fahrzeuge beträgt dieses Höhenmaß $1,040 \pm 0,025$ m (T. V.* § 73). [Grz. § 45 verlangt bei Güterwagen federnde Zug- und Stossvorrichtungen nur dann, wenn $V \geq 20$ km/st.] T. E. § 10 lässt für bestehendes Material 0.900 bis 1.070 m zu.

In den Vereinigten Staaten ausschließlich selbsttätige Mittelkupplung, Miller, Janney, Gould, M. C. B. (master car builders' coupler) u. a., auch in Europa versuchsweise in Anwendung, sonst bei normal- oder breitspurigen Bahnen fast ausschließlich europäische Kupplung mit Seitenpuffern, bei schmalspurigen Bahnen meist Mittelkupplung verschiedenster Bauart.

4. Kupplungen. Alle Fahrzeuge sind mit **Schrauben- und Sicherheitskupplungen** (Abb. 88 u. 89) zu versehen. (B. O. § 33; T. V.* § 76); sie müssen sich ferner in doppelter, unabhängiger Weise so miteinander verbinden lassen, dafs beim Bruch der angespannten Schraubenkupplung (Hauptkupplung) die **Sicherheitskupplung** (Abb. 89) in Wirksamkeit tritt (T. V.* § 76; T. E. § 17). Die Kupplungen und Verbindungsvorrichtungen aller Eisenbahnfahrzeuge müssen herabhängend, beim niedrigsten zulässigen Pufferstande (940 mm über S.-O.) noch mindestens 75 mm von S.-O. entfernt bleiben (B. O. § 33, T. V.* § 116); bei Lokomotiven und Tendern gestatten T. V.* § 86 bis 60 mm über S.-O. — Handgriffe für die Wagenkuppler verlangt T. V.* § 80.

Abb. 89.



Es kann nach T. V. § 133 der Hauptkupplungsbolzen für Sicherheits- und Hauptkupplung mit 45 mm Durchmesser gemeinsam sein, ebenso die Zugstange, soweit diese vom Zughaken ab einen reinen Querschnitt von 20 qcm besitzt. Hierbei muß der unter dem Fahrzeug befindliche (quadratische) Zugstangenteil (50 · 50 mm) mit einer Fangvorrichtung (Stahlkeil 70 · 10 mm) versehen sein, um bei dem Bruche des schwachen (runden) Teiles der Zugstange (42 mm Dmr.) den nötigen Widerstand an der entsprechend versteiften Kopfschwelle zu finden.

Schraubenkupplung nach T. V.* § 75 u. 76.

Der kreisförmige Querschnitt des Kupplungsbügels (Einhängbügel bei a) soll 35 mm Durchmesser, nach B. O. § 33 30 bis 35 mm u. T. E. § 16 25 bis 35 mm Durchmesser haben.

Abmessungen der Laschen und der Kupplungsspindel.

Festigkeit des Rohmaterials der Schraubenkupplung kg/qmm	h Kleinste Höhe der Lasche im Schaft bei der Breite von 14 mm	d Kerndurchmesser mm	d ₁ Äußerer Durchmesser der Schraubenspindel mm	Steigung mm
> 35 bis 40	45	40	47	7
> 45 bis 50	35	33	42	

Für den Kuppelbolzen ist ein Material von mindestens 50 kg/qmm Festigkeit zu verwenden.

5. Puffer. B. O. § 33 und T. V.* § 77: Wagerechte Entfernung der Puffermitten $1,750 \pm 0,010$ m (T. E. § 11 erlaubt 1,710 bis 1,770 m; bei bestehenden Wagen 1,700 bis 1,800 m). Das Spiel (Eindrückung) der Puffer soll ≥ 70 und ≤ 150 mm sein. Der Abstand der vorderen

Pufferfläche von der Kopfschwelle muß bei nicht eingedrückten Puffern ≥ 575 mm, bei völlig zusammengedrückten Puffern ≥ 425 mm betragen. Vom Fahrzeuge aus gesehen, muß die Stoßfläche des linken Puffers eben, die des rechten gewölbt sein; Höhe der Wölbung bei neuer Scheibe ≥ 25 mm. Durchmesser der Pufferscheiben ≥ 340 mm; bei Wagen mit Drehgestellen ≥ 400 mm, jedoch bei Personenwagen mit Uebergangsbrücken ≤ 450 mm. Nach T. E. § 12 darf bestehendes Material 300 mm Pufferscheiben-Durchmesser haben.

Abb. 90: Korbpuffer; Pufferteller meist aufgenietet.

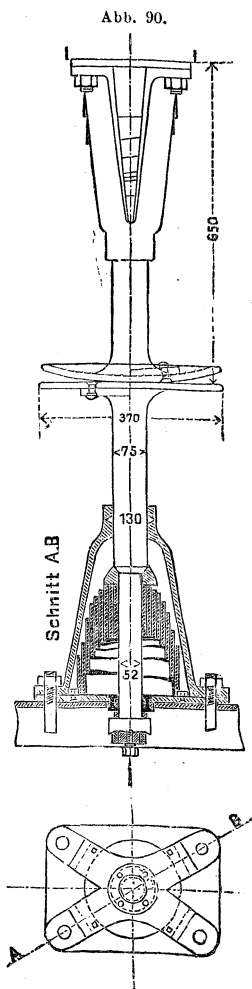
Statt der vierfüßigen Pufferhülse und der in letzter Zeit sich einbürgernden zweifüßigen sind auch zylindrische Hülßen aus Gußeisen oder Stahlguss in Gebrauch.

Der freie Raum zwischen allen vor der Kopfschwelle vorspringenden Teilen und den vorderen Pufferflächen muß eine Breite von mindestens je 400 mm zu beiden Seiten des Zughakens, eine Höhe von mindestens 2 m (T. E. 1,8 m) über S.-O. und bei nicht zusammengedrückten Puffern von deren Stoßflächen ab eine Tiefe von 300 mm + Eindrückung haben. Alle außerhalb dieses Raumes liegenden, vorspringenden Teile der Bremsersitze, Geländer der Uebergangsbrücken usw. (Ausnahmen in T. V.* § 135 u. 136) müssen hinter der Stoßfläche der nicht zusammengedrückten Puffer mindestens 40 mm + Eindrückung zurückstehen; die Enden der Laufbretter und Fußtritte an den Langseiten der Wagen dagegen 300 mm hinter der Stoßfläche der nicht zusammengedrückten Puffer (B. O. § 34; T. E. § 13 u. 21; T. V.* § 78 u. 135).

Grz. § 45: Findet kein Wagenübergang nach Hauptbahnen statt, so sind Mittelpuffer, die mit einer selbsttätigen oder doch möglichst einfachen Kupplung vereinigt sind, Seitenpuffern und getrennter Zugvorrichtung gegenüber vorzuziehen.

6. Federn für die Zug- und Stoßvorrichtungen. Meist kegelförmige Schraubenfedern.

Musterzeichnungen des Deutschen Staatsbahnwagenverbandes: für Zugapparate und Puffer der Wagen Federn mit Blattquerschnitt $145 \cdot 10$ mm; 6 Windungen; lichter Durchmesser oben 54 mm, äußerer Durchmesser unten 165 mm. Höhe unbelastet 230 mm,



belastet mit 5000 kg 160 mm. Anspannung beim Einsetzen 10 mm. Tragkraft etwa 7000 kg. Zugapparate am Tender hinten, an der Lokomotive vorn und der Drehgestellwagen haben zwei Federn; sonst überall nur je eine Feder verwendet.

B. Bremsen.

a. Allgemeines.

Die **Bremung** erfolgt fast ausschließlich durch Bremsklötze, die durch Vermittlung eines Bremsgestänges

- a) von Hand,
- b) mechanisch durch Gewichte, Ausnutzung der lebendigen Kraft mittels Reibungsräder, Dampf, Druckluft, Saugluft gegen die Räder gepreßt werden.

Je nachdem, ob von einer Stelle des Zuges aus nur ein einzelnes Fahrzeug, eine Gruppe von Fahrzeugen oder alle Fahrzeuge des Zuges gebremst werden können, werden die Bremsen als

- a) Einzelbremsen (Handbremse),
- b) Gruppenbremsen (Heberlein, Schmidt, Borries),
- c) durchgehende Bremsen (Carpenter, Wenger, Westinghouse, New York Air Brake, Knorr, Schleifer, Hardy, Körting) bezeichnet.

b. Bremsklötze.

Bremsklötze, meist aus Gufseisen, sollen bei geringer Abnutzung grofse Reibungszahl haben, deshalb Gufseisen vielfach mit Zusatz von Stahlspänen oder mit Stahlblecheinlagen. Bremsklötze auch geteilt in Sohle und Halter ausgeführt. Sohle gewöhnlich mit Stahlblecheinlage an der Berührungsfläche mit dem Halter, um Bruch bei starker Abnutzung zu verhüten. Vorteile der geteilten Klötze: leichte Auswechselbarkeit und Möglichkeit, Halter und Sohle aus verschiedenen Materialien herstellen zu können; Nachteil: höhere Anschaffungskosten. Geteilte Klötze hauptsächlich dort geeignet, wo Auswechseln der Klötze häufig und wegen Platzmangels schwierig.

Die Räder werden ein- oder zweiseitig gebremst. Nachteile der einseitigen Bremsung: grofser Flächendruck bei den Klötzen und grofser Seitendruck auf Achslager und Achshalter; Vorteile: kleines Gewicht, geringe Anschaffungskosten und leichte Unterhaltung. Sind bei Lokomotiven mit engem Radstand nur einseitig Bremsklötze möglich, so sind sie zur Schonung der Stangen-Zapfen und -Lager bei sämtlichen Bremsachsen auf derselben Seite, und zwar zur Schonung der Achslager auf der Rückseite der Räder (bezogen auf die Hauptfahrtrichtung) anzubringen. Um Federspiel nicht zu beeinträchtigen, soll Mitte Bremsklotz etwa 10 bis 40 mm unterhalb Achsmitte liegen. Bei nicht angezogener Bremse soll zwischen Klotz und Rad etwa 5 bis 6 mm Spielraum bleiben. Schleifen der Bremsklötze bei nicht angezogener Bremse wird durch Abdrückfedern verhindert.

Die Bremsklötze müssen bei tiefstem Pufferstand noch 50 mm von S.-O. abstehen (BO. § 287; TV.* § 86³, 108, 116³; Grz. § 49³).

Bremswirkung der Bremsklötze beruht auf Umsetzung der lebendigen Kraft des rollenden Fahrzeuges (herrührend aus der Verschiebung der gesamten Masse des Fahrzeuges und aus der Drehung der Masse der

Achsen und Räder) in Reibungsarbeit. Verzögernde Kraft (Reibung zwischen Rad und Schiene) erzeugt durch Reibung zwischen Bremsklotz und Rad. Reibungsarbeit abhängig vom Reibungswiderstand und Bremsweg; Reibungswiderstand abhängig vom Druck (Bremsklotzdruck oder Raddruck) und der Reibungszahl. Zwischen Klotz und rollendem Rad Reibungszahl der gleitenden Reibung, zwischen rollendem Rad und Schiene Reibungszahl der Ruhe.

Reibungszahl der gleitenden Reibung zwischen Klotz und Rad sehr schwankend, beeinflusst durch Bremsklotzmaterial (Härte, Rauigkeit, eingeschliffene oder neue Klötze), Zwischenmittel zwischen Klotz und Rad (Feuchtigkeit, Oel, Schmutz, Blätterfall), Druck auf die Flächeneinheit, Temperatur der Klötze (Winter, Sommer, Dauer der Bremsung), Fahrgeschwindigkeit. GröÙe der Reibungszahl s. I. Bd. S. 246.

Reibungszahl der Ruhe zwischen rollendem Rad und Schiene von ähnlichen Ursachen beeinflusst, wie diejenige der gleitenden Reibung zwischen Klotz und rollendem Rad, von der Fahrgeschwindigkeit jedoch erheblich weniger. Sie kann im allgemeinen mit etwa 0,14 bis 0,16 eingesetzt werden, ohne dafs die Räder zum Schleifen kommen; bei besonders schlüpfrigen Schienen (Oel, Blätterfall, Raupen) erheblich kleiner (vgl. I. Bd. S. 246).

Bremsklotzdruck (s. auch unter c. S. 879) ist möglichst grofs zu wählen, aber nicht so grofs, dafs Räder zum Schleifen kommen (Rollgrenze). Bei schleifenden Rädern gilt zwischen Rad und Schiene nicht mehr die Reibungszahl der Ruhe, sondern die erheblich kleinere der gleitenden Reibung. Schleifen der Räder auch deshalb vermeiden, weil Schleifstellen am Rade unruhigen Lauf des Fahrzeuges hervorrufen. Praktisch wird bei Bemessung des Bremsklotzdruckes nicht bis dicht an die Rollgrenze gegangen, um sicher zu sein, dafs die Räder selbst bei ungünstiger Reibungszahl zwischen Rad und Schiene und auch unter Berücksichtigung des Umstandes nicht schleifen, dafs die Fahrzeuge beim Bremsen überkippen, wobei die vordere Achse belastet, die hintere entlastet wird.

Erfahrungswerte für den Bremsklotzdruck bei Handbremsen s. unter d. S. 882, bei durchgehenden Bremsen wie folgt:

Bei Neu- und Umbauten ist der Bremsklotzdruck an den Triebrädern der Lokomotiven auf mindestens 50 vH ihres Raddruckes zu bemessen (TV.* § 101²). Für schnellfahrende Lokomotiven ist eine Erhöhung des Bremsklotzdruckes zu empfehlen. Werden auch die Laufräder gebremst, so ist bei diesen Rädern das Verhältnis des Bremsklotzdruckes zum Raddrucke kleiner zu halten als bei den Triebrädern (TV. § 101²). Bei durchgehenden Bremsen muß der Bremsklotzdruck bei größtem Kolbendruck an Tendern auf 70 bis 80 vH des Raddruckes des mit halben Vorräten beladenen Tenders bemessen werden (TV.* § 113²), an Personen-, Post- und Gepäckwagen auf 75 bis 85 vH, an Güterwagen auf 90 bis 100 vH des Raddruckes der gebremsten Räder des leeren Wagens (TV.* § 131²).

Bei den Fahrzeugen der preussisch-hessischen Staatsbahnen soll der Gesamtbremsklotzdruck aller gebremsten Achsen betragen

a) an den Triebrädern der Lokomotiven

1. bei der Westinghouse-Bremse 65 bis höchstens 70 vH des auf sämtliche Triebräder entfallenden Gewichtes unter Zugrundelegung eines Luftdruckes von $8\frac{1}{2}$ at im Bremszylinder,

2. bei der Knorr-Bremse 85 bis 90 vH des auf sämtliche Triebäder entfallenden Gewichtes unter Zugrundelegung eines Luftdruckes von 7 at im Bremszylinder,

b) an den Tendern

1. bei der Westinghouse-Bremse 70 vH des Gewichtes des Tenders bei halber Wasser- und Kohlenfüllung unter Zugrundelegung eines Luftdruckes von 4 at im Bremszylinder,

2. bei der Knorr-Bremse 85 bis 90 vH des Gewichtes des Tenders bei halber Wasser- und Kohlenfüllung unter Zugrundelegung eines Luftdruckes von 7 at im Bremszylinder,

c) an den Wagen bei der Westinghouse- und der Knorr-Bremse bei dreiachsigen Wagen (Mittelachse ungebremst) 80 vH des auf die Endachsen entfallenden Eigengewichts, bei zwei- und vierachsigen Wagen 65 bis 70 vH des Eigengewichts der Wagen unter Zugrundelegung eines Luftdruckes von 4 at im Bremszylinder.

Da die Reibungszahl zwischen Klotz und Rad zu Beginn der Bremsung kleiner ist als am Schlusse, so wird bei Zügen mit Geschwindigkeiten > 100 km/st erstrebt, den Bremsklotzdruck bis auf 200 vH vom Raddruck des leeren Wagens zu steigern und ihn gegen Ende der Bremsung wieder auf 70 bis 80 vH abnehmen zu lassen, d. h. das Reibungsmoment soll während des ganzen Verlaufes der Bremsung konstant erhalten werden.

Für Fahrzeuge, bei denen der Raddruck im beladenen Zustande erheblich gröfser als im unbeladenen ist (Güterwagen), wird bei nicht von Hand bedienten Bremsen erstrebt, den Bremsklotzdruck selbsttätig nach dem Raddruck des beladenen bzw. des unbeladenen Fahrzeuges einzustellen, ohne dafs die Räder zum Schleifen kommen (bisher nicht einwandfrei gelungen).

c. Bremsgestänge.

Bremsgestänge so anordnen, dafs die Drücke auf die einzelnen Bremsklötze einander gleich sind (Ausgleichbremse TV.* 101⁴, 113⁴, 131⁵).

Gestänge für Handbremsen (Abb. 91):

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = Z_1 \frac{c}{d} = Z \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z \frac{a}{b} = P_1 \frac{d}{c}$$

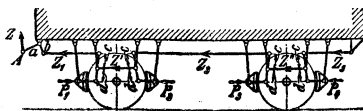
$$Z' = Z'' = P_1 \frac{c+d}{c} = Z_1 \frac{c+d}{d} = Z \frac{a}{b} \cdot \frac{c+d}{d}$$

Dabei bedeutet P_1, P_2, P_3 und P_4 den Druck auf einen Bremsklotz.

Gesamtbremsklotzdruck auf n Räder mit $2n$ Bremsklötzen:

$$= 2nZ \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

Abb. 91.

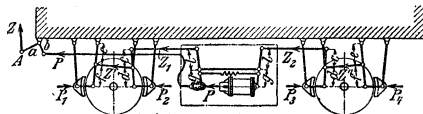


Der Hub s des Punktes A beim Anziehen der Bremse beträgt unter der Voraussetzung, daß bei loser Bremse jeder Klotz um das Maß k vom Rade absteht bei n Rädern mit $2n$ Bremsklötzen:

$$s = n \cdot k \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}.$$

Bei Gestängen für durchgehende Bremsen (Abb. 92) sollen Handbremse und durchgehende Bremse sich nicht beeinflussen. Zu dem Zweck müssen, außer entsprechender Gesamtanordnung des Gestänges, Bremskolbenstange und Handbremszugstange an den Enden Langlöcher erhalten. Damit die Drücke auf die einzelnen Klötze gleich groß werden, muß sein:

Abb. 92.



Der umgrenzte Teil ist um 90° gedreht gezeichnet und liegt in Wirklichkeit wagerecht.

entsprechender Gesamtanordnung des Gestänges, Bremskolbenstange und Handbremszugstange an den Enden Langlöcher erhalten. Damit die Drücke auf die einzelnen Klötze gleich groß werden, muß sein:

$$c : d = e : f.$$

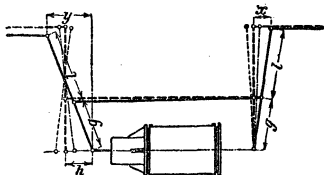
Bei angezogener Bremse und mittlerem Kolbenhub h sollen Hebel und Zugstangen zur vollen Ausnutzung von Z und P senkrecht aufeinander stehen. Deshalb soll bei loser Bremse sein (Abb. 93):

$$x = \frac{h}{2} \cdot \frac{l}{g}, \quad y = h + x.$$

Der Druck auf einen Bremsklotz ergibt sich zu:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = Z' \frac{e}{e + f} = Z' \frac{c}{c + d} = Z_1 \frac{c}{d} = Z_2 \frac{c}{d} \\ = P \frac{c}{d} \cdot \frac{g}{l}.$$

Abb. 93.



Lage des Gestänges
 — bei gelöster Bremse.
 - - - - - " dem mittleren Kolbenhub
 " kleinsten
 - - - - - " " größten

Gesamtbremsklotzdruck auf n Räder mit $2n$ Klötzen:

$$= 2n P \frac{c}{d} \cdot \frac{g}{l}.$$

Der Kolbenhub h beim Anziehen der Bremse beträgt unter der Voraussetzung, daß bei loser Bremse jeder Klotz um das Maß k vom Rade absteht, bei n Rädern mit $2n$ Klötzen:

$$h = nk \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{g}{l}$$

und der Hub s des Punktes A :

$$s = nk \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{g}{l} \cdot \frac{a}{b}.$$

Vorstehende Werte von h und s erhöhen sich noch um einen Betrag, der sich aus dem toten Gang der Bolzen, der Durchbiegung der Bremshebel und der Dehnung der Bremszugstangen ergibt und

der verschieden ist je nach der Länge und dem Querschnitt der Hebel und Zugstangen und der Gröfse der Kräfte P bzw. Z .

Der Bremsdruck muß auf beide Räder einer Vereinslenkachse gleich groß sein und bei parallel verschiebbaren Lenkachsen durch 4 Bremsklötze auf eine Achse übertragen werden. Die Dücke der beiden Klötze desselben Rades dürfen höchstens im Verhältnis von 2 zu 3 voneinander abweichen. Die Bremse darf auch bei angezogenen Klötzen die Einstellung der Lenkachsen nicht hemmen (TV.* § 122). Bremssteile, deren Bruch oder Herabfallen eine Gefahr für den Betrieb herbeiführen kann, sind durch Fangvorrichtungen zu sichern (TV. § 101⁵, 113⁵, 131⁸; Grz. § 63³, 74², 81³).

Weitere Vorschriften für das Gestänge (Uebersetzungsverhältnis) s. unter d. S. 882 und f. S. 885.

Nachstellen des Bremsgestänges. Verschraubungen und Nachstelllöcher einfach und billig in der Herstellung, aber zeitraubend und unbequem in der Bedienung, namentlich wenn Arbeitsgruben zwischen den Gleisen nicht zur Verfügung stehen, daher häufig besondere Nachstellvorrichtungen, entweder selbsttätig oder von Hand zu bedienen (Abb. 94). Selbsttätige unzuweckmäfsig bei Fahrzeugen, bei denen infolge der Durchbiegung der Tragfedern die Bremsklötze bei beladenem Fahrzeug erheblich tiefer am Rade hängen als bei unbeladenem; die Klötze werden dann bei beladenem Fahrzeug zu früh nachgestellt, so dafs sie bei unbeladenem Fahrzeug auch bei loser Bremse fest bleiben. Benutzung der Zugstange und Kurbel der Handbremse für von Hand zu bedienende Nachstellvorrichtungen nur dann zu empfehlen, wenn dabei Handbremse und durchgehende Bremse voneinander vollständig unabhängig bleiben; sonst wegen Einwirkung der Handbremse auf den Bremskolben Betriebsgefahr nicht ausgeschlossen. Abb. 94 stellt eine bewährte, von Hand zu bedienende Nachstellvorrichtung dar, mit der ein Festpunkt des Bremsgestänges verschoben wird (Chaumontsche Nachstellvorrichtung). Bei allen Nachstellvorrichtungen wichtig, dafs die Bremshebel sich durch das Nachstellen nicht zu schräg stellen (s. Ausführungen zu Abb. 93.)

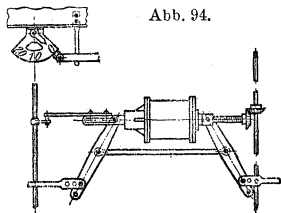


Abb. 94.

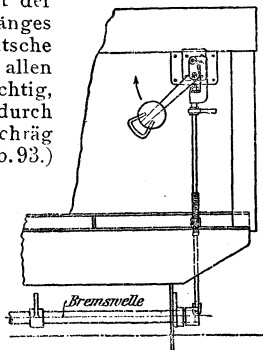
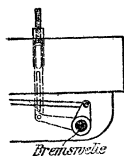


Abb. 95.



d. Handbremsen.

Handbremsen (Einzelbremsen) werden als Spindel- oder Hebelbremsen ausgeführt, Hebelbremsen gewöhnlich an Lokomotiven und Tendern (Extersche Wurfbremse, Abb. 95). Bei Spindelbremsen erfolgt die Drehung der Schraubenspindel durch eine Kurbel (Abb. 96) oder bei Platzmangel durch ein senkrecht an der

Wagenstirnwand liegendes Handrad (Abb. 97). Spindel gewöhnlich senkrecht an der Wagenstirnwand angeordnet, bisweilen auch wagerecht unter dem Fußboden (Abb. 97). Hubbegrenzung zur Verhütung zu weiten

Abb. 96.

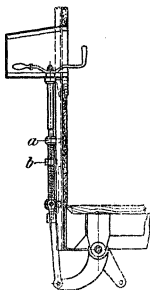
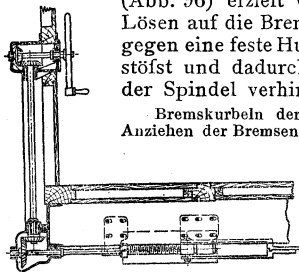


Abb. 97.



Lösens kann durch eine an einer Schiene geführte wandernde Schraubenmutter *a* (Abb. 96) erzielt werden, die sich beim Lösen auf die Bremsspindel dreht, bis sie gegen eine feste Hubbegrenzungsscheibe *b* stößt und dadurch eine weitere Drehung der Spindel verhindert.

Bremskurbeln der Handbremsen sollen beim Anziehen der Bremsen nach rechts (d. h. im Sinne der Uhrzeigerbewegung) gedreht werden (B.O. § 35¹; T.V.* § 79; Grz. § 46). Das Uebersetzungsverhältnis der Spindelbremse vom Kurbelhandgriffe bis zu den Bremsklötzen soll mindestens das 20-fache des in Tonnen gemessenen Gewichtes des

Tenders mit vollen Vorräten betragen. Hebelbremsen sollen die gleiche Wirksamkeit haben (T.V. § 113³). Das Uebersetzungsverhältnis der Spindelbremsen vom Kurbelhandgriff bis zu den Bremsklötzen muß bei Bremsspindeln mit einfachem Gewinde für zwei- und dreiachsige Wagen das 40- bis 60-fache, für vier- und sechsachsige Wagen das 30- bis 50-fache des gesamten Raddruckes der gebremsten Räder in Tonnen betragen; bei Bremsspindeln mit doppeltem Gewinde kann das Uebersetzungsverhältnis um ein Viertel vermindert werden. Das Uebersetzungsverhältnis darf jedoch in keinem Falle 1:1200 überschreiten. Für Personen-, Post- und Gepäckwagen ist hierbei das Eigengewicht, für Güterwagen das Gesamtgewicht (Eigengewicht und Ladung) zugrunde zu legen. Mit der Spindelbremse müssen mindestens zwei Achsen des Wagens gebremst werden können (T.V.* § 131⁷). Mit der Handbremse sollen die Räder auch bei beladenen Wagen nahezu festgestellt werden können (Grz. § 81¹). Für Bremsspindeln mit einfachem Gewinde wird eine Ganghöhe von 13 mm empfohlen, bei doppeltem Gewinde soll sie nicht über 17 mm betragen (T.V. § 131⁶). Tenderlokomotiven, Tender und Triebwagen müssen mit einer Handbremse versehen sein, auch wenn sie andere Bremsvorrichtungen haben (B.O. § 35³; T.V.* § 101³, 113¹; Grz. § 63¹, 74¹). Bei neuen Tendern muß die Handbremse auf sämtliche Räder wirken (T.V.* § 113¹). Für Zahnstangenbahnen wird empfohlen, einzelne nicht zu leichte Wagen (Gepäckwagen) mit losen von Hand bremsbaren Zahnradern zu versehen (Grz. § 81⁴). Ueber Bremserhäuser s. B.O. § 35² und T.V. § 131⁹ 10 11.

e. Gruppenbremsen.

Gruppenbremsen (Gewichtsbremse von v. Borries, Reibungsbremsen von Heberlein und Schmidt) gestatten Gruppen von Wagen bis zu 28 Achsen von einer Stelle aus zu bremsen (F.V. § 87¹³). Größere Gruppenlänge nicht zulässig mit Rücksicht auf Dehnung des Bremsseiles und Zeitunterschied im Eintreten der Bremswirkung an den Gruppenenden. Diese Bremsen wirken zu langsam und sind deshalb nur noch wenig (auf Nebenbahnen) im Gebrauch; sie werden verdrängt durch

f. Durchgehende Bremsen

die mit Druckluft oder Saugluft betrieben und in direkt wirkende (nicht selbsttätige) und indirekt wirkende (selbsttätige) unterschieden werden. Die direkt wirkenden entsprechen nicht der Forderung, daß bei Bruch der Bremsleitung des Zuges (Zug-

trennung) beide Zugteile selbsttätig gebremst werden sollen; sie sollten daher nur bei einzeln laufenden Fahrzeugen (Triebwagen) verwendet werden. Bei den indirekt wirkenden tritt bei einem Bruche der Bremsleitung selbsttätig eine Bremsung beider Zugteile ein.

Selbsttätige Druckluftbremsen werden als Zweikammer- (Abb. 98, Carpenter, Schleifer, Wenger) und Einkammer-Bremsen (Abb. 99, Westinghouse, Knorr, Schleifer, New York Air Brake) ausgeführt. Vorteile der Zweikammer- gegenüber

den Einkammerbremsen: kein Steuerventil, daher einfach und billig, Möglichkeit, die Bremskraft durch allmähliches Wiederaufladen der Bremsleitung allmählich zu

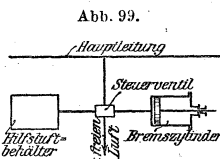
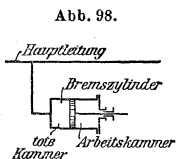
ermäßigen (letztere Eigenschaft besonders wichtig für Bahnen mit langen, stark geneigten Gefällen); Nachteile: großer Verbrauch an Druckluft und bei größeren Zuglängen lange Bremswege, weil die Druckluft nur aus dem Führerbremshahn entweichen kann. Wegen dieser Nachteile Zweikammerdruckluftbremse nur noch vereinzelt, z. B. in Norwegen (Carpenter) und Frankreich (Wenger) im Gebrauch; sie sind verdrängt durch die Einkammerluftdruckbremse, die hauptsächlich in Deutschland, Frankreich, Belgien, Niederlande, Schweiz, Ungarn, Italien, Rußland und den Vereinigten Staaten verwendet wird.

Zweikammerdruckluftbremsen arbeiten mit Drücken von 4 oder 5 at in der Leitung. Der Druck auf den Bremskolben ist abhängig von der Größe der Arbeitskammer und beträgt bei der normalen Carpenterbremse bei Vollbremsungen aus 4 at Leitungsdruck etwa 2,6 bis 3,1 at, aus 5 at Leitungsdruck etwa 3,2 bis 3,9 at entsprechend einem Kolbenhub von 105 bis 60 mm.

Einkammerdruckluftbremsen arbeiten mit einem Drucke von 5 at in der Leitung. Bei „Betriebsbremsungen“ kommt nur Druckluft aus dem Hülfsluftbehälter in den Bremszylinder, bei „Schnellbremsungen“ außerdem auch Druckluft aus der Leitung. Der Druck auf den Bremskolben beträgt bei der Westinghouse- und der Knorr-Bremse bei vollen Betriebsbremsungen etwa 3,5 bis 4,0 at, bei Schnellbremsungen etwa 3,8 bis 4,3 at entsprechend einem Bremskolbenhub von 200 bis 100 mm.

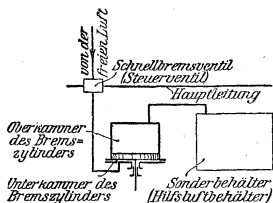
Um bei Zweikammerbremsen kürzere Bremswege zu erzielen, sind an den toten Kammern zur schnellen Entfernung der Druckluft Auslassventile (nur für kürzere Zuglängen brauchbar) angebaut worden (von Knorr bei der Berliner Hoch- und Untergrundbahn).

Gutes Regeln der Geschwindigkeit auf langen, stark geneigten Strecken gestattet die Westinghouse-Henry-Bremse, auch Westinghouse-Doppelbremse genannt, die eine Verbindung einer direkt wirkenden mit einer indirekt wirkenden Einkammerdruckluftbremse darstellt und z. B. auf der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn, der Gotthardbahn und den Schweizer Bundesbahnen verwendet wird. Nachteile dieser Bremse: 2 Bremsleitungen, daher die doppelte Zahl von Bremsschläuchen, erhöhte Beschaffungs- und Unterhaltungskosten, Erschwerung des Kuppelns.



Selbsttätige Luftsaugbremsen sind nur als Zweikammerbremsen (Abb. 100) (Hardy, Körting) im Gebrauch. Sie ermöglichen allmähliche Verringerung der Bremskraft und bei Anordnung eines Schnellbremsventils an jedem Bremswagen auch schnelle Wirkung und kurze Bremswege. Durchschlagsgeschwindigkeit größer als bei Luftdruckbremsen. Nachteile: Weite Bremsleitung, große Luftbehälter und

Abb. 100.



Bremszylinder, daher großes Gewicht, teuer und großer Raumbedarf; Bremszylinder wird bei großen Kolbendrücken geteilt. Unterdruck in der Bremsleitung bei Personenzügen 52 cm Quecksilbersäule; Druck auf den Bremskolben bei Vollbremsungen etwa 0,55 bis 0,65 at je nach der Größe des Hilfsluftbehälters und des Bremskolbenhubes. Im Gegensatz zu den Druckluftbremsen ist es bei den Luftsaugbremsen üblich, für eine bestimmte Bremszylindergröße verschiedene Hilfsluftbehältergrößen zu ver-

wenden und dadurch den Kolbendruck nach Bedarf bis um 15 vH zu erhöhen. Selbsttätige Luftsaugbremsen sind hauptsächlich in England, englischen und deutschen Kolonien, Dänemark, Schweden, Spanien, Portugal und Oesterreich, ferner in Deutschland bei Kleinbahnen in Anwendung.

Durchgehende Bremsen für schnellfahrende Züge mit Geschwindigkeiten > 100 km/st mit Bremsklotzdrücken bis zu 20 vH des Raddruckes des leeren Wagens (s. unter b. S. 879) im Versuch (Preussische Staatsbahn).

Durchgehende Bremsen für Güterzüge sind als Luftsaugbremse (Hardy), Einkammerdruckluftbremse (Westinghouse, Knorr) und Zweikammerdruckluftbremse (Pfalzbahn) konstruiert und haben sich bei Versuchen des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen als brauchbar erwiesen. Bei der allgemeinen Einführung durchgehender Güterzugbremsen in Europa soll wegen des Uebergangs der Güterwagen auf fremde Bahnen von allen Bahnverwaltungen einheitlich vorgegangen werden (Berner Konferenz im Mai 1909).

Personenzüge mit $V > 60$ km/st (auf Nebenbahnen 30 km) müssen mit durchgehender Bremse gefahren werden (B.O. § 55¹¹ u. 66²). Die durchgehende Bremse eines Zuges, der eine Geschwindigkeit von mehr als 60 km (auf Nebenbahnen 40 km) erreicht, muß so eingerichtet sein, daß sie von der Lokomotive, den einzelnen Abteilen der Personenwagen, den Post- und Gepäckwagen, von den mit Handbremse versehenen Güterwagen aus in Tätigkeit gesetzt werden kann und selbsttätig wirkt, sobald die Bremsleitung unterbrochen wird (B.O. § 35⁵; T.V.* § 132). An Lokomotiven, die zur Beförderung von Personenzügen mit mehr als 60 km Geschwindigkeit (auf Nebenbahnen mehr als 40 km Geschwindigkeit) dienen, muß eine Triebdradbremse vorhanden sein, die mit der durchgehenden Bremse in Tätigkeit gesetzt werden kann (B.O. § 35⁴; T.V.* § 101¹).

Für Schnellzuglokomotiven wird empfohlen, auch die Laufräder bremsbar einzurichten (T.V. § 101¹). Wenn eine Lokomotive mit durchgehender Bremse versehen ist, muß diese auch auf die Tenderbremse wirken (T.V.* § 113¹). Bei zwei- und vierachsigen Wagen muß die durchgehende Bremse auf sämtliche Räder, bei dreiachsigen Wagen mindestens auf die Räder der Endachsen, bei sechsachsigen Wagen mindestens auf die Räder der Endachsen jedes Drehgestells und, wenn drei- und sechsachsige Wagen für Schnellzüge mit einer Fahrgeschwindigkeit von mehr als 80 km/st

gebaut werden, auch auf die Räder der Mittelachse wirken (TV.* § 131³). Bei durchgehenden Bremsen an Wagen soll der größte zulässige Hub des Bremskolbens, in mm geteilt durch das Uebersetzungsverhältnis, von der Kolbenstange bis zu den Bremsklötzen mindestens 25 ergeben (TV.* § 131¹). Schlauchkupplungen sind nach TV.* § 83 u. 84 auszuführen. Bevor ein mit Luftdruck- oder Luftsaugebremse gefahrener Zug die Antangsstation verläßt, ist eine Bremsprobe vorzunehmen. Die Probe ist zu wiederholen, so oft der Zug getrennt oder ergänzt worden ist, es sei denn, daß nur Wagen am Schlusse abgehängt worden wären (B.O. § 61⁴; T.V. § 169³).

Kolbenhubanzeigevorrichtungen zu empfehlen, damit das Bremsgestänge rechtzeitig nachgestellt (s. a. Nachstellvorrichtungen S. 881) und zu tiefes Sinken des Bremskolbendruckes vermieden wird. Sie zeigen entweder ständig die jeweilige Kolbenstellung (s. Abb. 94) oder nur die Ueberschreitung des zulässigen größten Kolbenhubes an.

g. Bremsweg.

Bezeichnet

P den Gesamtbremsklotzdruck in kg,

μ die Reibungszahl zwischen Klotz und Rad (s. unter 2. S. 878),

Q das Gesamtgewicht des Zuges in t,

$g = 9,81 \text{ m/sk}^2$ die Beschleunigung durch die Schwere,

w den Zugwiderstand für 1 t Zuggewicht in kg, vgl. S. 768,

R den Halbmesser der Bahnkrümmung in m,

$\pm s$ das Neigungsverhältnis der Strecke in vT, wobei das positive Zeichen für Steigung, das negative für Gefälle gilt,

V_1 die Geschwindigkeit des Zuges bei Beginn der Bremsung in km/st,

V_2 die Geschwindigkeit des Zuges am Ende der Bremsung in km/st,

l den Bremsweg in m, so ist unter Vernachlässigung des aus der Drehung der Radsätze herrührenden Teiles der lebendigen Kraft

$$l = 3,93 \frac{V_1^2 - V_2^2}{\frac{P}{Q} \cdot \mu + w}$$

Werte für w s. S. 768 u. f.; für überschlägliche Rechnungen setze man:

$$w = 2,4 + \frac{\left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right)^2}{1300} \pm s + \frac{650}{R - 55}.$$

Dem berechneten Werte l ist der Weg hinzuzufügen, den der Zug vom Geben des Bremssignals (bei Handbremsen) oder von der Einleitung der Bremsung (bei durchgehenden Bremsen) bis zum Eintritt der Wirksamkeit der Bremsen zurücklegt; hierfür sind bei Handbremsen 10 sk und mehr, bei durchgehenden Bremsen, bei Einkammerdruckluftbremsen etwa 2 sk (bei längeren Zügen), bei Luftsaugebremsen etwas weniger zu rechnen.

Abb. 101 zeigt an preussischen Fahrzeugen (Westinghouse-Bremse) auf wagerechter Strecke ermittelte Bremswegkurven, u. zw. Kurve I für 2- und 4-achsige Personenwagen, bei denen sämtliche Achsen mit

etwa 65 bis 70 vH des Leerwagengewichts und Kurve II für 3achsige Personenwagen, bei denen nur die Endachsen mit etwa 80 vH des auf sie entfallenden Leerwagengewichts gebremst sind.

Abb. 101.

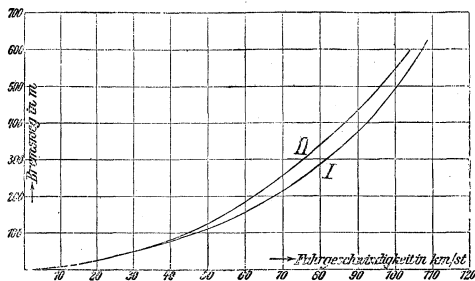
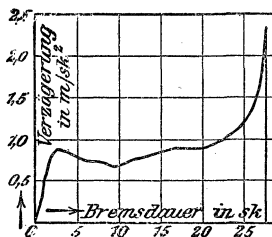


Abb. 102.

Bremmung aus 90 km/st Fahr-
geschwindigkeit.



h. Bremsverzögerung.

Die Bremsverzögerung beträgt bei durchgehenden Bremsen bis kurz vor Stillstand des Zuges etwa 0,6 bis 0,8 m/sk² und steigt dann schnell auf etwa 2 m/sk² (Abb. 102).

i. Anzahl und Verteilung der Bremswagen im Zuge.

Außer der Lokomotiv- und Tenderbremse müssen eine von der Streckenneigung und der Fahrgeschwindigkeit abhängige Anzahl von Bremsen bedient sein, so daß ein im § 55 (B.O.), § 160 (TV.) und § 97 (Grz.) festgesetzter Anteil des Gesamt wagengewichts im Zuge gebremst wird.

C. Lokomotiven und Tender.

a. Bezeichnung der Lokomotiven.

Die Bezeichnungsweise $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{5}$ usw. wird verdrängt durch

- Whytesche Bezeichnungsweise (1907), in Amerika üblich,
- Bezeichnungsweise des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen, 1908 angenommen.*)

Daneben besteht die sonst wenig übliche

- französische Bezeichnungsweise, besonders von Desmoulins angewendet (*B*=bogie=Drehgestell, *P*=porteur=Laufachse),

In Amerika bestehen daneben Kennworte für einzelne Typen.

Nachstehende Tabelle gibt nur einen Teil der vorkommenden Achsenanordnungen; die weiteren sind hiernach leicht ableitbar.

*) Vgl. auch die Vorschläge von Steffan über eine weitere Ausbildung der Bezeichnungsweise, „Die Lokomotive“ 1909 S. 30.

Bild	Alt	V.D.E.V. 1908	Whyte	Amerikanische Kennworte	Fran- zösisch
<○	1/2	1 A	2-2-0		P 1
<○○	1/3	1 A 1	2-2-2		P 1 P
<○○	2/2	B	0-4-0		2
<○○○	2/4	2 B	4-4-0	American	B 2
<○○○○	2/4	1 B 1	2-4-2	Columbia	P 2 P
<○○○	2/4	B 2	0-4-4	Forney	2 B
<○○○○	2/5	2 B 1	4-4-2	Atlantic	B 2 P
<○○○○○	3/5	2 C	4-6-0	Ten wheeler	B 3
<○○○○○	3/5	1 C 1	2-6-2	Prairie	P 3 P
<○○○○○	3/3	2 C 1	4-6-2	Pacific	B 3 P
<○○○	3/3	C	0-6-0	Six wheel switcher	3
<○○○○	3/4	1 C	2-6-0	Mogul	P 3
<○○○○	4/4	D	0-8-0		4
<○○○○○	4/5	1 D	2-8-0	Consolidation	P 4
<○○○○○○	4/6	2 D	4-8-0	Mastodon	B 4
<○○○○○○	4/6	1 D 1	2-8-2	Mikado	P 4 P
<○○○○○○○	5/6	1 E	2-10-0	Decapod	P 5
<○○○○○○○	5/7	1 E 1	2-10-2	Santa Fé	P 5 P
<○○○	2 × 2/2	B B	0-4-0-0-4-0		2-2
<○○○○○	2 × 3/4	C 1 1 C	0-6-2-2-6-0		3 P-P 3

b. Breiten- und Höhenmaße.

1. Umgrenzungslinie der festen Teile für Haupt- und vollspurige Nebenbahnen nach B.O. § 28 s. Abb. 103a S. 888 rechts. Die hierin angegebenen Breitenmaße sind mit Rücksicht auf das Durchfahren einer Krümmung mit 180 m Halbmesser je nach Länge und Bauart der Fahrzeuge entsprechend einzuschränken (B.O. § 28).

Lokomotivschornsteine, die bis 4,65 m über S.-O. reichen dürfen, müssen so angeordnet sein, daß ihre Höhe auf 4,28 m eingeschränkt werden kann (weil meist Einfahrtstore der Schuppen nicht höher).

Es dürfen nach B.O. § 28 herabreichen, auch bei größter Abnutzung der Radreifen (niedrigstem Pufferstande),

bis höchstens 50 mm über S.-O.: die durch den Radreifen gedeckten Teile, wie Bahnräumer, Bremsklötze und Sandstreuer;

bis höchstens 75 mm über S.-O.: Pleuel- und Kuppelstangenköpfe (d. h. die dem Federspiele nicht folgenden beweglichen Lokomotivteile), Sicherheitsketten und Kupplungen;

bis höchstens 100 mm über S.-O.: alle übrigen Lokomotivteile.

Nach T.V.* § 86 u. 108 gilt für Lokomotiven und Tender Abb. 103a. — Ueber die Höhe von 4,30 m über S.-O. dürfen nur die Lokomotivschornsteine hinausragen, u. zw. höchstens bis 4,57 m bei einer größten Gesamtbreite des rechteckigen Aufsatzes von 1,51 m. — Die dem Federspiele nicht folgenden beweglichen Lokomotivteile dürfen bis auf 60 mm über S.-O. herabreichen. Sonstige Bestimmungen betreffs 50 bis

100 mm über S.-O. wie in B.O. § 28 (s. v.). Für Lokomotiven und Tender, die auf Zahnradbahnen übergehen sollen, dürfen bis 0,300 m seitlichem Abstand von Gleismitte die dem Federspiele nicht folgenden

Abb. 103 a.

Lokomotiven und Tender.

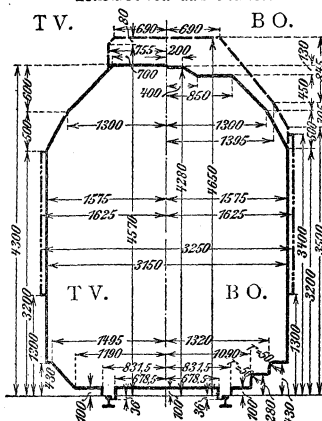
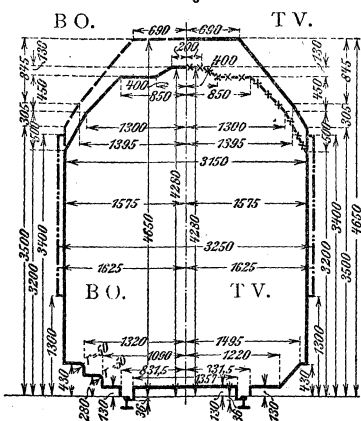
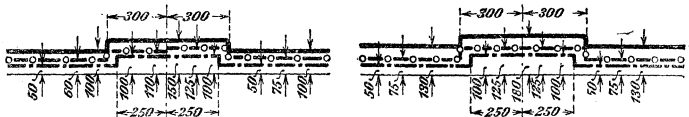


Abb. 103 b.

Wagen.



Einschränkung der Umgrenzung bei Zahnstangenbahnen.



- · — · — Umgrenzung des lichten Raumes.
- — — — — " der Fahrzeuge.
- — — — — " für verkürzbare Lokomotivschornsteine, Signalscheiben, Signallaternen und Leinenhaspel.
- · — · — " für Signalscheiben und Signallaternen.
- o — o — " für die dem Federspiel nicht folgenden Teile, die Sicherheitsketten und Kupplungen.
- x — x — " der Wagen für durchgehenden Verkehr.

Teile und die Sicherheitsketten und Kupplungen nur bis 110 mm, alle übrigen Teile nur bis 150 mm über S.-O. herabreichen.

2. Umgrenzungslinie der festen Teile für Lokalbahnen nach Gz. f. L. § 49 u. 69.

Lokomotiven und Tender vollspuriger Bahnen sollen T.V. § 86 u. 108 entsprechen (s. vorstehend). Bei schmalspurigen Bahnen muß die Umgrenzungslinie von 100 mm bis 1 m über S.-O. überall einen Abstand von 30 mm, von 1 m Höhe an einen Abstand von 100 mm von der Umgrenzung des lichten Raumes (s. Abb. 103 a) haben. — Bis zwischen 50 und 100 mm über S.-O. zugelassene Teile wie in T.V. § 86 bzw. B.O. § 28. Die Zähne der Zahnräder dürfen bei reinen Zahnradbahnen auch unter

S.-O., dagegen bei Adhäsions- und Zahnradbahnen nur bis 15 mm über S.-O. herabreichen.

Russische und amerikanische Profile sind größer, englische, belgische, französische italienische kleiner.

c. Hauptabmessungen ausgeführter Lokomotiven s. S. 893 u. f.

d. Lokomotivkessel.

Allgemeines s. unter Dampfkessel.

1. Berechnung von Rostfläche und Heizfläche.

Es bedeute im folgenden

R die gesamte Rostfläche in qm,

H_f die Feuerbüchsheizfläche,

H_r die Rohrheizfläche,

H die gesamte feuerberührte (innere) Heizfläche in qm,*)

V die Fahrgeschwindigkeit in km/st,

$v = V : 3,6$ die Fahrgeschwindigkeit in m/sk,

B die zu verbrennende Steinkohlenmenge in kg/st,

N die Leistung der Lokomotive in PS_e (am Radreifen).

$$\text{Rostfläche: } R = \frac{B}{300} \text{ bis } \frac{B}{550} \quad \text{oder} \quad R = \frac{N}{130} \text{ bis } \frac{N}{450};$$

hierbei gilt der kleinere Nenner für Anthrazit und Staubkohlen, der größere für Stückkohlen.

Nach Strahl**) kann man für 1 qm Rostfläche bei 12 at Kessel-
druck, 0,5 at Spannungsabfall bis zum Schieberkasten und η des
Kessels 0,63 bis 0,68 rechnen:

300 PS;	für Nafsdampfzwilling,
340 „ „	Nafsdampfverbund (2 Zyl.),
360 „ „	„ „ (4 Zyl.),
480 „ „	Heißdampfzwilling.

Leistung der Heizfläche. Das Verhältnis $N : H$ ist

	für Personenzuglokomotiven	für Güterzuglokomotiven
nach Frank***) . . .	$0,617 \sqrt{V}$	$0,6 + 0,527 \sqrt{V}$
„ Meyer	$1,75 + 0,18 V$	$2,0 + 0,18 V$

Richtiger ist, die Leistung der Heizfläche auf die Umlaufzahl der
Triebräder zu beziehen. Von Einfluss ist hierbei das Verhältnis $H : R$,
der Dampfdruck p und das Verhältnis des (Hochdruck-) Zylinderinhaltes C
(in l) zur Heizfläche.

*) Im Auslande wird meist mit der wasserberührten Heizfläche gerechnet; der
Unterschied beider Heizflächen ist rd. 10 vH.

**) Vgl. Strahl, Die Anstrengung der Dampflokomotiven, Organ 1908 S. 293.

***) Vgl. Frank, Die Leistungsfähigkeit der Lokomotiven usw. Gl. A. 1906, II
S. 233. Diese Werte gelten unter Zugrundelegung der Frank'schen Widerstandsformeln,
vgl. Z. d. V. d. L. 1907 S. 94, s. a. S. 769.

Richter*) gibt für Schnellzuglokomotiven

$$\frac{n}{H} = 0,1 \left(a - \frac{n}{100} \right) \sqrt{n}.$$

Hierin ist: n die Umlaufzahl der Treibräder für die Minute.

$a = 6,0$ für Nafsdampfzwilling,
 $= 6,5$ „ Nafsdampf-Zweizylinderverbund,
 $= 7,0$ „ Heifsdampfzwilling,
 $= 7,5$ „ Nafsdampf-Vierzylinderverbund,
 $= 8,0$ „ Heifsdampf-Vierzylinderverbund.

v. Borries*) gibt folgende Werte:

$N : H$.

Gattung	Maßgebende Hauptverhältnisse			N: H bei Umlaufzahl <i>u</i> der Triebäder in 1 sk							
	$\frac{H}{R}$	p at	$\frac{C}{H}$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	
Pers.- u. Schnellzuglokomotiven mit Zwillingswirkung	55	12	0,80	3,5	4,2	4,5	4,8	5,0	5,2	5,3	
„ Verbundwirkung in 2 Zyl.)			0,85	3,7	4,5	5,1	5,6	6,0	6,4	6,7	
„ „ „ 4 „)	55	14	0,85	5,9	6,3	6,7	7,0	7,2	7,4		
Güterzuglokomotiven mit kleinem Rost u. Zwillingswirkung	80	10	0,80	2,6	3,1	3,6	4,0	4,2	.	.	
„ großem Rost u. Zwillingswirkung	60	10	0,90	3,0	3,6	4,1	4,5	4,8	.	.	
„ kleinem Rost u. Verbundwirkung	75	12	1,00								
„ großem Rost u. Verbundwirkung	60	12	1,00	3,3	4,0	4,6	5,1	5,5	.	.	
Tenderlokomotiven	50	12	0,88	3,4	3,8	4,1	4,3	4,5	.	.	

Bei Kesselspannung p_1 ändert sich $\frac{N}{H}$ im Verhältnis $\sqrt{\frac{p_1}{p}}$.

Das Verhältnis der Heizfläche zur Rostfläche $H : R$ ist

bei Personenzuglokomotiven = 50 bis 70,

„ Güterzuglokomotiven = 60 „ 90.

Vorstehende Zahlen gelten für Steinkohlen; für anderen Brennstoff ist $H : R$

bei Braunkohlen = 45 bis 50 (Ungarn),

„ Staubkohlen = 23 „ 26 (Belgien),

„ Anthrazitkohlen = 30 „ 40 (Nordamerika).

Ueberschlägig kann (nach Strahl) 1 qm $H_f = 4$ qm H_r bewertet werden.

Wirkungsgrad der Feuerung η_1 = etwa 0,75 bis 0,85; Wirkungsgrad der Heizfläche η_2 = 0,78 bis 0,83.

Der Wirkungsgrad der Kesselanlage ist $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2$.

*) Vgl. Z. d. V. d. I. 1904 S. 810 und 1906 S. 557; für die von Richter und v. Borries gegebenen Formeln für $N : H$ sind die durch v. Borries vorgeschlagenen Zugwiderstandsformeln zugrunde zu legen.

S. ierner Organ 1908 S. 337. Strahl, Die Anstrengung der Dampflokomotiven.

Verdampfte Wassermenge für die Stunde bei starker Dauerbeanspruchung nach Busse

$$W = H_f \frac{12 - \frac{H_f}{R}}{0,025} + H_r \frac{\left(36 - \frac{H_f}{R}\right) \left(150 - \frac{H_r}{R}\right)}{100}.$$

(hierin gilt der Wert H_r für die wasserberührte Heizfläche der Rohre).

Verdampfung für 1 qm Wasseroberfläche etwa bis 1200 kg/st.

2. Feuerbüchse und Feuerbüchsmantel.

Länge der **Feuerbüchse** 1 bis 3 m, Breite 0,95 bis 1,15 m, wenn zwischen den Rahmen bzw. Rädern; wenn über dem Rahmen bis 2,8 m breit, besonders für Staubkohlen (Bauart Belpaire, Belgien) und Anthrazit (Bauart Wootten, Nordamerika); meist aus Kupfer. Stärke der Rohrwand etwa 26 mm, der übrigen Wände 16 mm.

In Nordamerika ausschl. Feuerbüchsen aus weichem Flußeisen; Rohrwand 13 mm, die übrigen Wände 8 bis 10 mm. Preufs. Probeversuche mit Flußeisen fielen ungünstig aus, ebenso solche mit Wellrohrfeuerbüchsen; neuerdings Wasserrohrfeuerbüchsen, Bauart Brotan, auch Wasserrohrkessel, Bauart du Temple (Franz. Nordbahn) und Robert (P. L. M. Bahn) im Betriebe.

Decken und Seitenwände meist aus einem Stück; Rohr- und hintere Wand werden gekümpelt. Abrundungshalbmesser der Seitenkanten der Decke etwa 200 mm (mind. 50 mm), der übrigen Kanten etwa 50 mm (mind. 20 mm). Die Feuerbüchse wird nach unten oder, wenn oben zu breit, nach hinten herausgenommen, nachdem die Mantelrückwand fortgenommen ist.

Zur Erzielung besserer Verbrennung meist vorn in der Feuerbüchse ein Schirm aus Schamottesteinen. — Zur Rauchverminderung, besonders bei gasreichen Kohlen, besondere Rauchverminderer; auf preufs. Staatsbahnen Einrichtung von Langer-Marcotty*) mehrfach verwendet, auch System Staby. Auch Oelfeuerungen sind rauchfrei, daher auf Tunnelstrecken verwendet (Arlbergbahn, Moselbahn).

Feuerbüchsmantel aus Eisenblech, Seiten 15 bis 16 mm, Decken 18 bis 22 mm stark wegen besseren Dichthaltes der Deckenstehbolzen, sonst für die äußeren Stehbolzenreihen besondere Laschen aufnieten. Empfehlenswert ist, Decke und Seiten aus einem Stück herzustellen. Abrundungshalbmesser der Kanten mindestens 50 mm. — Decke meist nach Halbkreis mit r = Kesselhalbmesser geformt (Bauart Crampton) oder eben (Bauart Belpaire), dann meist nur 14 bis 16 mm stark, aber oben geschlossene Stiefelknechtplatte nötig.

In Nordamerika meist nach Halbkreis, der größer als Kesselhalbmesser; Verbindung mit Langkessel durch einen kegelförmigen Schufs (wagon top boiler), auch vorhergehender bzw. erster Kesselschufs konisch (extended wagon top boiler), Vorteil großer Dampfraum, höherer Wasserstand.

Abkürzungen und Fußnoten zu den Tabellen S. 893 bis 897.

D_t = Durchmesser der Trieb-
räder,
 d = Zylinderdurchmesser,

d_r = Durchmesser der Heiz-
rohre,
 d_k = Kesseldurchmesser,

*) Vrgl. Gl. A. 1898. II. S. 165.

**) Vrgl. Z. d. V. d. I. 1896 S. 1357.

G = Güterzuglokomotive,
 Hg = Heißdampf,
 H_f = Feuerbüchseheizfläche,
 H = gesamte Heizfläche, feuerberührt,
 K = Kohlenraum,
 l = Kolbenhub,
 l_r = Länge der Heizrohre,
 L = Länge der Lokomotive ausschliesslich Puffer,
 m = Kesselmitte über Schienenoberkante,
 p = Dampfdruck,

P = Personenzuglokomotive,
 Q_l = Leergewicht,
 Q_d = Dienstgewicht,
 Q_r = Reibungsgewicht,
 R = Rostfläche,
 S = Schnellzuglokomotive,
 T = Tenderlokomotive,
 v = Verbund,
 4v = Vierzylinderverbund,
 V_{\max} = grösste gestattete Geschwindigkeit,
 W = Wasserraum,
 z = Zahl der Heizrohre.

¹⁾ Die ältere Type S_3 mit $d = 460/680$, $H = 119$, $Q_d = 49,6$ ist auch mit $D_t = 1750$ und $d = 460$ als Personenzuglokomotive gebaut, ferner auch vierzylindrig mit $d = 330/530$ und $Q_d = 52,8$.

²⁾ Die ältere Type S_4 hat $d = 540$, $D_t = 1980$, $H = 131$, $Q_d = 54,5$.

³⁾ Davon entfallen 38,6 qm auf den Schmidtschen Rauchröhrenüberhitzer.

⁴⁾ Vorn Barrenrahmen; die ältere Type S_7 hat $d = 360/560$, $k = 2,1$ qm; $H = 163$ qm, $Q_d = 60,0$.

⁵⁾ Mit Krauss-Drehgestell.

⁶⁾ Davon entfallen 42,5 qm auf den Schmidtschen Rauchröhrenüberhitzer.

⁷⁾ Die älteren $\frac{2}{3} G$ bzw. $\frac{2}{3} G^v$ haben $d = 450$ bzw. $460/650$, $R = 1,5$, $Q_d = 38,5$ bzw. 39,5.

⁹⁾ Mit Krauss-Drehgestell, auch als Verbundlokomotive mit $d = 500/750$.

¹⁰⁾ Auch als Zwillingslokomotive mit $d = 520$ gebaut, neuerdings auch verstärkte Type G_u mit $d = 550$, $l = 660$, $R = 3,0$, $H = 200$, $Q_d = 60$ gebaut.

¹¹⁾ Davon entfallen 41,2 qm auf den Schmidtschen Rauchröhrenüberhitzer

¹²⁾ " " 26,7 " " " " "

¹³⁾ " " 39,7 " " " " "

¹⁴⁾ " " 42,5 " " " " "

¹⁵⁾ Serve-Rohre.

¹⁶⁾ Drehgestell der italien. Südbahn; auch als Heißdampfzwillingslokomotive gebaut mit $d = 540$, $H = 142$, wovon 33,5 auf den Schmidtschen Rauchröhrenüberhitzer entfallen, $Q_l = 48,9$, $Q_d = 55,0$, $Q_r = 44,3$.

¹⁷⁾ Vorn und hinten Adam-Achse ohne Rückstellvorrichtung.

¹⁸⁾ Davon entfallen 50 qm auf den Schmidtschen Rauchröhrenüberhitzer.

¹⁹⁾ Dazu 5 Ankerrohre von 34/50 mm Durchmesser.

²⁰⁾ Davon entfallen 49,5 qm auf den Gölsdorf-Ueberhitzer.

²¹⁾ " " 57 " " " " "

²²⁾ " " 3,29 " " " " " Verbinder-Ueberhitzer.

²³⁾ Auch als Heißdampflokomotive mit Schmidt-Rauchröhrenüberhitzer.

²⁴⁾ Hierzu besonderer, nur Wasser fassender Tender.

Ebene Decken der Feuerbüchse und des Mantels müssen durch Deckenanker oder Deckenstehbolzen verstärkt werden.

Deckenanker (Barrenanker) liegen auf der Feuerbüchsedecke gewöhnlich in der Längsachse des Kessels, seltener quer dazu; fast nur noch in England verwendet.

Deckenstehbolzen ergeben geringeres Gewicht als Deckenanker; stets aus Eisen. Entfernung 95 bis 110 mm bei 30 bis 33 mm Dmr. im Gewinde (Kerndurchmesser 26 mm); vorderste Reihen meist beweglich.

Verankerung der Seitenwände von Feuerbüchse und Mantel durch meist kupferne, seltener (in Amerika stets) flufseiserne **Stehbolzen**

Hauptabmessungen ausgeführter Lokomotiven

893

Erklärung der Abkürzungen s. S. 891	Locomotiven der Preussischen Staatsbahn			Franz. Nordb. $\frac{2}{5} S^4 v$	Italien. Staatsb. $\frac{3}{4} S v$ 16)	Paris- Orléans $\frac{3}{5} S^4 v$	Oesterr. Staatsb. $\frac{3}{5} S^4 v$ 17)	Badische Staatsbahn $\frac{3}{6} H S^4 v$	Oesterr. Staatsb. $\frac{4}{5} G v$	Franz. Südb. $\frac{4}{5} G^4 v$	Paris- Lyon- Mittelm. $\frac{4}{5} G^4 v$
	T_{12}	T_{10}	T_{16}								
	$\frac{3}{4} H P T$ 5)	$\frac{3}{5} H T$	$\frac{5}{6} H T$								
Type.	1 C	2 C	E	2 B 1	1 C'	2 C	1 C 1	2 C 1	1 D	1 D	2 D
V_{\max} . . . km/st	80		50	120	100						
d mm	540	575	610	340/560	430/680	360/600	370/630	425/610	540/800	390/600	380/600
l "	630	630	660	640	700	640	720	650/670	632	650	650
Lage der Zylinder	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>ai</i>	<i>i</i>	<i>ai</i>	<i>ia</i>	<i>ia</i>	<i>a</i>	<i>ia</i>	<i>ia</i>
D_t mm	1500	1750	1350	2040	1850	1850	1820	1800	1300	1400	1500
	2500	2200	1450	2100	2550	2300	2300	2200	2500	2150	2100
Radstände . . . "	+ 1850	+ 1570	+ 1450	+ 1850	+ 1950	+ 1750	+ 1950	+ 2580	+ 1400	+ 1900	+ 1650
	+ 2000	+ 1880	+ 1450	+ 2150	+ 2250	+ 2000	+ 1950	+ 1940	+ 1400	+ 1460	+ 1650
		+ 2350	+ 1450	+ 2400		+ 2200	+ 3290	+ 1940	+ 1500	+ 1540	+ 1650
								+ 3450			+ 2200
R qm	1,7	1,85	2,25	2,74	2,46	3,05	4,0	4,5	3,36	2,77	3,08
H_f "	9,3	10,15	11,1	15,5	9,9	16,2	13,7	14,7	14,0	15,9	15,9
H_g "	139 ¹²⁾	132,5 ¹³⁾	177 ¹⁴⁾	216 ¹⁵⁾	124 ¹⁵⁾	239 ¹⁵⁾	243	259 ¹⁸⁾	227	251 ¹⁵⁾	247 ¹⁵⁾
z "	140 + 14	+ 21	150 + 21	126	104	139	282	175 + 25 ¹⁸⁾	295	148	146
d_r mm	41/46 124/133	41/46 124/133	41/46 124/133	65/70	65/70	65/70	48/53	50/55 129/138	151	65/70	65/70
l_r "	4370	4450	4500	4300	4000	4400	5200	5100	5000	4300	4250
m "	2500	2750	2550	2520	2730	2700	2870	2820	2600	2600	2600
d_k "	1348	1500	1470	1456	1500	1523	1584	1664	1570	1550	1550
p at	12	12	12	16	16	16	15	16	13	15	16
Q_l t	51,0	60,2	59,0	61,1	49,7	68,0	61,8	81,2	60,0	65	67,2
Q_d "	48,0	75,9	74,0	66,5	54,8	74,5	69,1	88,3	69,0	71,6	73,2
Q_r "	64,0	48,0	74,0	33,1	43,7	54,5	42,6	49,5	57,2	64,5	56,0
L mm	10 450	10 450	11 000	10 400	6900	11 065	11 040	13 217	10 410	10 655	11 095
W cbm	7,0	7,5	7,0								
K t	2,5	2,5	2,0								

Erklärung der Abkürzungen s. S. 891	Oesterr. Staatsb. $\frac{5}{6} G v$	Oesterr. Staatsb. $\frac{5}{6} G^4 v$	Oesterr. Staatsb. $\frac{1}{3} H I v$	Bayer. Staatsb. $\frac{2}{5} T$ 23)	Franz. Nordb. $\frac{2}{6} T$	Italien. Staatsb. $\frac{3}{3} T$	Badische Staatsb. $\frac{3}{5} T$	Paris-Lyon- Mittelm. $\frac{3}{7} T^4 v$	Badische Staatsb. $\frac{4}{4} T$	Pariser Gürtelb. $\frac{4}{6} T^4 v$	Italien. Staatsb. $\frac{5}{5} T^4 v$ 24)
Type.	<i>E</i>	<i>1 E</i>	<i>1 A 1</i>	<i>1 B 2</i>	<i>2 B 2</i>	<i>C</i>	<i>1 C 1</i> 80	<i>2 C 2</i>	<i>D</i>	<i>2 D</i>	<i>E</i> 50
V_{\max} . . km st											
<i>d</i> mm	500/850	370/630	260/400	450	430	370	435	370/580	480	370/570	375/610
. "	632	720	550	560	600	550	630	650	630	650	650
Lage der Zylinder	<i>a</i>	<i>ia</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>ai</i>	<i>a</i>	<i>ai</i>	$\frac{i}{a} \frac{i}{a}$
D_t mm	1300 1400	1450 2130	1450 3500	1640 2700	1664 1800	1520 1800	1480 2500	1650 2100	1262 1450	1440 2200	1350 1500
Radstände. . . "	+ 1400	+ 1530	+ 1550	+ 2050	+ 2020	+ 1800	+ 1700	+ 1950	+ 1450	+ 1500	+ 1500
	+ 1400	+ 1950		+ 2400	+ 1780		+ 1700	+ 1830	+ 1450	+ 1650	+ 1500
	+ 1400	+ 1530		+ 1650	+ 1350		+ 2500	+ 2250		+ 1550	+ 1500
		+ 1530			+ 1800			+ 1900 + 2100		+ 1550	
<i>R</i> qm	3,42	4,6	1,03	2,0	1,95	1,30	1,38	3,07	1,75	2,27	3,50
H_f "	13,3	15,5	5,2	8,4	8,7	6,2	8,25	16,03	7,76	12,4	13,0
H_g "	185 ²⁰⁾	235 ²¹⁾	50 ²²⁾	110	125 ¹⁵⁾	79	117	250 ¹⁵⁾	110	203 ¹⁵⁾	236
<i>z</i> "	264	291	130 + 16	200	93	79	185	44 + 102	185	126	275
d_r mm	46/51	48/53	41/46,33	40/45	65/70	65/70	46/52	65/70	47/52	65/70	47/52
l_r "	4500	5000	2500	3830	3345	2800	4080	4250	3750	4100	5150
<i>m</i> "	2615	2890	2450	2350	2600	2375	2350	2600	2700	2620	2800
d_k "	1532	1624/1757	1200	1320	1306	1100	1380	1515	1380	1446	1543
<i>p</i> at	14	16	15	12	12	12	13	16	13	15	16
Q_l t	60,0	70,0	24,1	52,2	50,3	29,2	49,8	81,5	46,6	65,7	62,0
Q_d "	66,5	77,2	31,6	68,8	63,4	37,3	63,6	100	58,5	81,2	73,0
Q_r "	66,5	67,4	14,3	30,0	32,0	37,3	41,0	48,9	58,5	61,1	73,0
<i>L</i> mm	10 507	11 017	6380	9592	9684	7550	9460	14 480	9390	11 450	11 265
<i>W</i> cbm			3,0	9,1	7,0	4,0	7,0	9,0	7,0	6,0	—
<i>K</i> t			1,4	3,7	3,5	1,4	1,8	3,0	2,5	4,0	4,0

Hauptabmessungen ausgeführter

	$\frac{2}{4} P$ Petscha- buri- bahn	$\frac{2}{4} P_v$ Java- Staats- bahn	$\frac{3}{4} P$ Aethiop. Bahn	$\frac{2}{5} P$ Central- Norte Argent.	$\frac{3}{6} P$ Malay. Staats- bahn	$\frac{4}{4} G$ Rjäsan- Uralsk	$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} P$ Central- Norte Argent.	$\frac{3}{3} T L$ Militär- bahnen
Spurweite . mm	1000	1067	1000	1000	1000	1000	1000	600
Type	1 B 1	2 B	1 C	2 C	2 C 1	D	1 B C	C
d	360	380/580	360	430	394	330/490	330/520	180
l	500	510	550	610	610	400	550	240
Lage der Zylinder	a	a	a	a	a	a	a	a
D_t	1350	1510	1250	1370	1372	850	1300	590
Radstände . .	2300	2000	2100	1600	7645	1166	2165	650
	+ 2620	+ 1780	+ 1600	+ 1380		+ 1167	+ 1850	+ 650
	+ 2380	+ 2400	+ 1400	+ 1680		+ 1167	+ 2330	
				+ 1980			+ 1450	
							+ 1600	
R	1,38	1,3	1	1,5	1,7	0,91	3,3	0,3
Π_f	6,0	6,6	6,4	8,0	7,6	5,5	10,9	1,2
Π_y	77	85,5	70	115	104	51	150	14,3
z	150	186	142	190	148	105	191	43
d_r	40/44	37/41	41/45	45/50	45/50,8	40/45	45/50	39,6/44
l_r	3450	3650	3200	4000	4534	3500	4800	2195
m	1800	1960	1900	2150	2057	1600	2200	1117
d_k	1100	1124	1123	1350	1372	1000	1262	700
p	12	12	12	12	12,6	11	12	15
Q_l	25,3	29,0	24,5	35,8	40,2	19,9	42,0	6,25
Q_d	28,0	32,0	27,0	41,7	46,6	22,5	47,7	8,0
Q_r	16,4	18,2	22,0	31,7		22,5	42,1	8,0
L	7700	8052	7200	9040		7155	10 795	3670
W								0,9
K								0,3

($k_z \geq 22$ kg, $\varphi \geq 38$ vH von 26 bis 30 mm Dmr. im Gewinde (Kern-durchmesser 21 bis 24 mm), in Entfernungen von 90 bis 115 mm; meist schwach verjüngt, etwa 1:200, dann leichter durchzudrehen, aber auch zylindrisch. Beanspruchung nach A. P. B. bei Flußeisen 6 kg/qmm, bei Kupfer für Dampftemperaturen bis 200° 4 kg/qmm. Damit man Brüche erkennen kann, werden die Stehbolzen von außen bis etwa 13 mm über Innenkante der Wandungen hinaus angebohrt, oft auch ganz durchbohrt oder aus hohlgewalztem Kupfer (TV. § 94) gefertigt. Durch-

Lokomotiven für Schmalspur.

$\frac{3}{8} T L$ Salz- wedler Klein- bahnen	$\frac{3}{8} T L$ Japan. Bahnen	$\frac{3}{4} T v$ Oester- reich. Staats- bahnen	$\frac{3}{4} T$ Japan. Staats- bahnen	$\frac{3}{5} T$ Oester- reich. Staats- bahnen	$\frac{2}{3} \times \frac{2}{2} T$ Rhät. Bahn	$\frac{4}{4} T$ Chile	$2 \times \frac{3}{8} T$ Franz. Departm.- Bahnen	Bau-lokomotiven		
								$\frac{2}{2} T$ 40 PS.	$\frac{2}{2} T$ 60 PS.	$\frac{2}{2} T$ 125 PS.
1000	1067	760	1067	760	1000	762	1000	600	750	900
<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i> ₁	<i>1 C</i>	<i>C</i> ₂	<i>1 B B</i>	<i>D</i>	<i>C C</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
235	430	320/500	406	310/450	315/490	270	310/480	185	235	310
440	630	400	610	400	550	340	550	300	400	430
<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
860	1350	800	1245	800	1050	720	1310	600	800	800
1065	1900	1200	1829	1000	1810	900	1100	1100	1400	1800
+ 935	+ 1800	+ 900	+ 1981	+ 1100	+ 1600	+ 880	+ 1100			
		+ 1900	+ 2210	+ 900	+ 2000	+ 800	+ 2000			
				+ 1800	+ 1600		+ 1100			
							+ 1100			
0,78	1,2	1,03	1,35	1,03	1,3	0,6	1,5	0,33	0,45	0,8
3,4	6,8	4,6	9,3	4,3		2,5	7,8	1,7	2,1	3,4
32,7	89	57,6	92,8	59,5	79	27,5	85,3	14,8	21,8	36,8
109	176	126	192	120	139	86	152	66	81	96
34/38	41/46	39/44	39/45	39/44	42/46	41/46	41/46	35/39	35/39	41/46
2550	3600	3250	3140	3720	3600	2250	3600	1410	2210	2700
1700	2000	1650	1956	1600	1950	1700	1850	1365	1675	1800
913	1240	1024	1219	1083	1140	882	1104	734	798	958
12	12	13	11 $\frac{1}{4}$	13	14	12	14	12	12	12
14,5	31,4	21,0	36,9	19,5	33,3	12,5	37,3	6,3	9,4	14,5
18,0	40,0	27,6	50,0	26,5	45,0	16,5	44,4	7,9	12,0	18,8
18,0	40,0	22,9	40,0	17,9	40,5	16,5	44,4	7,9	12,0	18,8
5785	8700	6800	9322	7400	9524	5400	10710	3840	4468	5850
2,0	4,0	3,1	6,9	3,0	3,5	2,0	4,0	0,57	1,0	2,0
0,7	1,0	1,5	1,8	0,9	1,0	0,7	1,0	0,3	0,5	0,75

messer der Bohrung 3 bis 6,5 mm; oberste Stehbolzenreihen, besonders in den Ecken, werden stark auf Biegung beansprucht, daher oft aus Manganbronze ($k_z \geq 30$ kg, $\varphi \geq 35$ vH) oder stärker als die übrigen genommen; bisweilen auch sämtliche Stehbolzen aus Manganbronze, doch brennen dann in der Feuerzone die Köpfe leicht ab. In England auch eingeschlitzte Stehbolzen, Patent Stone; in Dänemark bewegliche Stehbolzen (Busse), auch in Amerika mehrfach verwendet (Tate u. a.). — Die Vorderwand der Feuerbüchse ist unterhalb der Heizrohre gegen

den Langkessel durch Bodenanker, die Hinterwand des Mantels zweckmäßig im oberen Teile gegen die Seitenwände durch wagerechtes Blech, die Seitenwände des Mantels gegeneinander, namentlich, wenn sie noch oberhalb der Feuerbüchse eben sind, durch möglichst gleichmäßig zu verteilende Queranker (Rundeisen von 40 bis 50 mm Dmr.) versteift.

Feuerbüchse und Mantel werden am unteren Ende durch den **Bodenring** (meist Flusseisen) von 60 bis 100 mm Breite und 60 bis 100 mm Höhe verbunden; Vernietung einfach oder doppelt; an den Ecken erhalten oft Mantel und Bodenring Lappen, so daß dreireihige Nietung möglich.

Feuertür länglichrund oder rechteckig, seltener kreisrund, etwa 280 bis 320 mm hoch, 370 bis 450 mm breit, wird als Dreh- oder Schiebetür gebaut; innen Schutzblech. Auch nach innen klappende Türen. Verbindung von Feuerbüchse und Mantel meist durch Ring. Bei breiten Rosten meist besonders breite oder bisweilen 2 Feuertüren.

Der **Rost** wird wagerecht oder, wenn Trieb- bzw. Kuppelachse unter Feuerbüchse liegt, geneigt angeordnet; je tiefer er liegt, desto besser ist die Verbrennung. — Spaltenweite für Steinkohlen je nach der Feinheit 3 bis 18 mm, für Koks 6 bis 8 mm, für Holz 5 mm, für Torf 15 mm. — Roststäbe aus Gußeisen, Flusseisen oder Flußstahl.

Preuß. Norm.: Gußeiserne Doppelstäbe, 15 · 105 mm Querschnitt, 12 mm Spaltenweite; Flacheisen-Roststäbe, 18 · 100 mm Querschnitt, 18 mm Spaltenweite.

Für lange Fahrten Klapp- oder Schüttelroste, für Anthrazitkohlen wegen der hohen Verbrennungstemperatur bisweilen Wasserrohrroste. *)

Vorn unter der untersten Rohrreihe etwa 0,5 bis 1,0 m langer **Feuerschirm** aus Schamottesteinen.

Aschkasten, aus 5 bis 8 mm starken Blechen, abnehmbar eingerichtet, erhält vorn und meist auch hinten eine vom Führerstande aus stellbare Klappe (Regelungsmittel für die Dampferzeugung). Bei geöffneten Klappen muß das Herausfallen von glühenden Kohlen möglichst verhindert sein (BO. § 36; TV. * § 96; Gz. f. L. § 59), daher Funken-sieb (Drahtgitter) hinter den Klappen und Spritzvorrichtung; zweckmäßig auch Aschkasten mit zweiteiliger Klappe (Bauart Schubert. **) In der Mitte des Bodens Einsteigöffnung. Bei breiten Rosten meist dreiteiliger Aschkasten; zweckmäßig mit Luftzuführung auch an den Seitentaschen.

3. Langkessel.

Der **Querschnitt** des Langkessels sei kreisförmig (TV. § 93; Gz. f. L. § 57). — **Baustoff**, Flusseisen $k_z = 34$ bis 41 kg, $\varphi \geq 25$ vH, im Auslande vielfach $k_z = 40$ bis 50 kg, $\varphi \geq 20$ vH. — Breite der Bleche 1,6 bis 2,5 m; daher höchstens 3 Schüsse. Die Bleche sind mit der Walzrichtung winkelrecht zur Kesselachse zu legen; die Längsnähte sollen doppelte, im Dampfraum liegende Nietung erhalten (vgl. TV. § 93 und Gz. f. L. § 57). Für Berechnung der Wandstärke schreiben die A. P. B. je nach Art der Nietung Sicherheiten von 4 bis 4,75 unter Zuschlag von

*) Vgl. E. T. d. G. S. 157 u. f.

**) Vgl. E. T. d. G. S. 160 u. f.

1 mm zur Wandstärke, mindestens aber 7 mm vor, s. II. Bd. S. 95; im übrigen s. II. Bd. S. 27. (Berechnung der Wandstärke). Vordere Rohrwände meist 22 bis 28 mm.

Preufs. Norm.: Doppelte Laschennietung, Innenlasche 250 mm breit, Wandstärke $\delta = 3$ mm weniger als Kesselblech, Außenlasche wegen des Verstemmens nur 125 mm breit, $\delta = 1$ mm weniger als Kesselblech; in Amerika meist dreireihige Laschennietung.

Auch nahtlos gewalzte Schüsse in Verwendung, meist von gleicher Stärke wie genietete Schüsse.

Dampfspannungen meist 12 at, bei 4-zylindrigen Lokomotiven meist 14 at, in Oesterreich, Frankreich, Italien, Amerika namentlich bei Schnellzuglokomotiven meist 15 bis 16 at, vereinzelt auch 17 at.

Dom, wenn nicht Belastungsverhältnisse anderes bedingen, möglichst auf dem hinteren Teil des Langkessels; Durchmesser etwa 0,6 bis 0,75 m, Höhe möglichst so groß, als Profil gestattet. Versteifung des Kesselausschnittes durch Ring vom halben Querschnitt des herausgeschnittenen Stückes, oder (im Auslande) Unternieten eines Blechkranzes von Kesselblechstärke unter den Dompfufs. Im Dom Sprühblech oder Haube zum Abscheiden des mitgerissenen Wassers.

Heizrohre in Deutschland glatt aus Flußeisen, selten noch überlappt geschweißt, meist nahtlos gezogen (bisweilen mit kupfernen Vorschuhlen, Wandstärke mindestens 3, möglichst 4 bis 5 mm), in England und Italien meist aus Messing, in Frankreich vielfach innen gerippte (Serve-)Rohre; äußerer Durchmesser 41 bis 63 mm (Serve-Rohre 65 und 70 mm), Wandstärke 2 bis 3 mm, Anzahl meist 150 bis 280, doch auch bis 500 (Nordamerika), Stegstärke zwischen den Rohren 16 bis 23 mm, bei großen Rohrlängen die größeren Rohrdurchmesser, um Durchgangswiderstand der Gase zu verringern. Äußerer Durchmesser bis

50 mm bei Rohrlängen bis etwa 5000 mm

57 " " " " " 6000 "

63 " " " " " 7000 "

In den Rohrwänden liegen die Rohrmitten auf Lotrechten und auf 30° gegen die Wagerechte geneigten Linien. Näheres s. II. Bd. S. 12.

Befestigung in den Rohrwänden meist derart, daß die hinteren Rohrenden 3 bis 10 mm eingezogen, die vorderen um 2 bis 3 mm aufgetrieben werden, so daß leichtes Einbringen und Herausziehen (selbst bei Kesselsteinansatz) möglich ist. In den Rohrwänden werden die Rohre durch Aufwalzen mit Rohrwälzen gedichtet. In der Feuerbüchse werden die Enden umgebördelt, in der Rauchkammer meist nicht mehr. Bei Messingrohren und kupfernen Vorschuhlen am Feuerbüchsende meist stählerne Brandringe. Das Rohrbündel erhält meist etwa 30 bis 50 mm Steigung nach vorn.

Uebliche Durchmesser innen/außen: 40/45, 41/46, 45/50, 50/55. vrgl auch Tafel über Heizrohre s. II. Bd. S. 12 u. f. Länge bis 6,9 m. Innerer Prüfdruck meist 25 at.

Bei großen Kesseln, bei kleinen Kesseln nur wenn Dampfkesselvereinen unterstehend, Ankerrohre von etwa 20 bis 35 mm lichte Durchmesser und 5 bis 8 mm Wandstärke, möglichst gleichmäßig über Rohrbündel verteilt (vgl. Vorschriften in den A.P.B. II. Bd. S. 78).

Lage des Langkessels gegen die Feuerbüchse so, daß bei einer Wasserschicht von 150 mm über der Feuerbüchse die Höhe des Dampftraumes im Kessel $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$ des Durchmessers beträgt, je nachdem ein Dom vorhanden ist oder nicht.

4. Rauchkammer und Schornstein.

Rauchkammer meist von gleichem oder etwas größerem Durchmesser wie der Kessel. Die in den ersten Schufs eingebaute Rohrwand ist mit Flansch nach der Rauchkammer zu gerichtet, bei Heißdampflokomotiven mit Schmidt-Ueberhitzer und in England wird die Rohrwand meist vorgesetzt und durch Winkerring mit dem Langkessel verbunden. Länge der Rauchkammer früher 0,6 bis 0,8 m, jetzt meist größer: 1 bis 3 m. Je größer der Rauchkammerraum, desto gleichmäßiger das Vakuum. Blechdicke oben etwa 10 mm, unten 14 mm, bei Barrenrahmen bis 23 mm. Am Boden meist Aschfalltrichter; zum Löschen besonderes Spritzrohr vorn über der Tür. Tür an der Vorderwand so groß, daß alle Rohre bequem gereinigt werden können. — Aschfallrohr und Tür müssen luftdicht schließen, dsgl. die Pafsbleche an den Durchführungen der Ein- und Ausströmröhre.

Durch die Rauchkammer führen meist die Einström- und, wenn vorhanden, die Verbinderröhre (beide meist aus Flußeisen), in ihr münden die Ausströmröhre; letztere entweder hosenförmig, erst unmittelbar unter dem Blasrohr sich vereinigend (meist flußeisern) oder senkrecht mit Vereinigung am Boden der Rauchkammer (meist gußeisern), dann aber elliptischer Querschnitt, um möglichst wenig Rohre zu verdecken.

Blasrohr, der Kopf (die Haube) der Ausströmröhre, ist meist einfacher Kegel mit Neigung 1:10; muß genau in Schornsteinachse stehen; über der Oeffnung, namentlich bei kurzen Schornsteinen zum Ausbreiten des Dampfstrahles, oft ein quadratischer, auf die Kante gestellter Steg. Höhenlage der Mündung meist etwas über der obersten Rohrreihe, bei langen Rauchkammern auch tiefere Lage möglich. Brennt das Feuer vorn (hinten) auf dem Roste zu stark, so ist die Mündung tiefer (höher) zu legen. Veränderliche Blasrohre in Deutschland wenig, in Amerika nicht, sonst viel gebraucht. In Nordamerika meist Blasrohre mit mehreren übereinanderliegenden Zwischendüsen.

Zylindrische **Schornsteine** meist aus Eisenblech, 4 bis 7 mm stark, kegelförmige meist aus Gußeisen, 8 bis 10 mm stark. Theoretisch ist die Kegelform die günstigere, innerhalb der praktisch erforderlichen Grenzen lassen sich mit zylindrischen Schornsteinen gleiche Ergebnisse wie mit kegelförmigen erzielen. Ist

S der Gesamtquerschnitt der Heizrohre in $q\text{m}$,

R die Gesamtrostfläche in $q\text{m}$

(d , D , h , vrgl. Abb. 104),

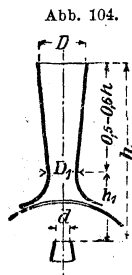
so wähle man für Steinkohlen nach v. Borries

$$d = 0,115 \sqrt{\frac{SR}{S + 0,1 R}}.$$

Bei Anwendung von Stegen erhalten diese meist 0,1 d Breite und das Blasrohr $d' = 1,06 d$,

$$D = 0,14 h + 1,8 d = \left(0,14 \frac{h}{d} + 1,8\right) d,$$

$$D_1 = 0,8 D.$$



Bei Blasrohren auf Kreuzrohren ist D 10 vH gröfser zu nehmen,

$h \geq 15 d$ für Blasrohre auf senkrechten Untersätzen,

$h \geq 14 d$ bei Stegen oder Blasrohren auf Kreuzrohren.

Für leichte Kohlen, Braunkohlen usw. für etwa 60 mm Luftverdünnung in der Rauchkammer empfiehlt Gölsdorf

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{8,4 R}{p} \text{ und } h_1 \sim 6 (D_1 - 2 d).$$

Hierbei ist

R die Rostfläche in qdm,

p die Kesselspannung;

der engste Querschnitt bildet hierbei ein zylindrisches Stück von Länge $l = \frac{D_1}{2}$.

Kegelneigung in beiden Fällen 1:10 (Seitenneigung 1:20), schlank abgerundeter Einlauf.

Bei kürzeren Schornsteinen sollen die oberen Kanten in einem Kegel liegen, der von dem oberen Durchmesser des berechneten Schornsteines zur Blasrohrebene mit einem Durchmesser von 1,8 d herabreicht.

Im Ausland vielfach drehbarer Schornsteindeckel.

Funkenfänger (nach TV.* § 97; Gz. f. L. § 60; BO. § 36 nur nötig, wenn Beschaffenheit des Heizstoffes es erfordert) trichterförmig von Blasrohrmündung bis Schornsteineinlauf (nur bei tiefliegendem Blasrohr) oder ungefähr wagerecht angeordnet, als Drahtnetz, Rahmen mit Rundeisen oder Flachstäben, oder als durchlochte Blechplatte. Bei leichtem Brennstoffe Sammelkopf oben am Schornstein. Verlängerung der Rauchkammer sowie Vergrößerung der Rostfläche tragen zur Verminderung des Funkenfluges bei. Zahlreiche Sonderbauarten.

5. Kessel-Ausrüstung.

(BO. § 36; TV.* § 91 bis 97; Gz. f. L. § 54 bis 60); A.P.B. § 4 bis 11.)

Jede Lokomotive muß besitzen lfd. Nr. 1 bis 7:

1. **Zwei Speisevorrichtungen**, die unabhängig voneinander in Betrieb gesetzt werden können und von denen jede Fahrt das erforderliche Speisewasser (A.P.B.: doppelt soviel Wasser, als normaler Verdampfungsfähigkeit entspricht) liefert.

Saugende Injektoren: Sellers, Friedmann, Strube. Nicht-saugende: Friedmann, Schau, Körting. Selbsttätig anziehende (restarting): Sellers, Gresham, Schäffer & Budenberg, Friedmann, Körting.

Leistung muß für 1 qm Heizfläche etwa 1 l/min betragen.

Die Speiserohre münden meist vorn in den Kessel. Abschluß durch Rückschlag- und meist auch noch durch Absperrventil. An das Speiserohr wird meist Kohlennähsahn und Schlauchverschraubungsstutzen für Feuerlöschzwecke angeschlossen. Die Injektoren dienen gleichzeitig dazu, Kesseldampf nach dem Wasserkasten zu leiten.

In warmen Gegenden für oder neben dem zweiten Injektor Fahrpumpe oder kleine Kolbenpumpe.

2. Zwei Wasserstandzeiger, entweder zwei Wasserstandgläser oder ein solches und zwei, besser drei Probierhähne oder Probierventile. Bei Wasserstandgläsern muß der niedrigste zulässige Wasserstand (N.W.) durch eine deutlich erkennbare Marke angegeben sein. Für Bahnen mit stärkeren Neigungen empfehlen TV. § 93 und Gz. f. L. § 56, mehrere, den Bahneigungen entsprechende Marken anzubringen. Den unteren (sichtbaren) Teil des Glases legt man in die Höhe von N.W. Es muß N.W. mindestens 100 mm über dem höchsten Punkte der Feuerbüchdecke liegen. M.W. liegt etwa 180 mm, H.W. 260 mm über der Feuerbüchdecke. Absperrhähne mit 8 bis 10 mm lichter Weite, 25 mm bzw. 375 mm über Feuerbüchdecke; meist selbsttätige Absperrvorrichtungen bei Glasbruch (Kugeln oder ähnliche Vorrichtungen). — Absperr- und Probierhähne sind zum Durchstoßen (A.P.B.: auch im Betriebe) einzurichten.

Zweckmäßig ist, beide Absperrhähne so zu verbinden, daß sie beim Springen der Gläser gleichzeitig geschlossen werden können. Das Glas ist mit Schutzvorrichtung (Drahtgitter oder dgl.) zu versehen. Probierhähne und Probierventile werden in Höhe von N.W., M.W. und H.W. angebracht. — Zu unterscheiden scheinbarer und wirklicher Wasserstand, je nachdem der Regler geöffnet oder geschlossen ist. Am Wasserstandzeiger ist Stütze für die Laterne anzubringen. — Nach Gz. f. L. § 56 empfiehlt es sich bei Bahnen von 60 vT und mehr Neigung, die Wasserstandgläser in der Mitte des Langkessels anzubringen.

3. Zwei Sicherheitsventile. Die Belastung des einen (A.P.B. beider) Ventils darf nicht über das bestimmte Maß gesteigert werden können. Bei unbeabsichtigter Entlastung dürfen die Sicherheitsventile nicht weggeschleudert werden. Die Belastung muß den Sicherheitsventilen eine lotrechte Bewegung von 3 mm gestatten. Hebel- oder unmittelbar wirkende Belastung. Die Hebel werden meist durch Federn, seltener durch Gewichte belastet. — Ueblich Zusammenlegung beider Ventile nach Bauart Ramsbottom (preufs. Norm.), nach A. P. B. nicht gestattet; Dampfdruck auf ein Ventil nach A. P. B. höchstens 600 kg. Im Ausland vielfach Popventile, Bauart Coale, die geringere Drucksteigerung zulassen.

Größe der Sicherheitsventile zweckmäßig nach früheren Bestimmungen so, daß die freie Durchlaßöffnung etwa 1 : 12 500 der gesamten Heizfläche beträgt. A. P. B. verlangen Querschnitt derart, daß Drucksteigerung höchstens $\frac{1}{10}$ des zulässigen Dampfdruckes. (Vgl. I. Bd. S. 466 und II. Bd. S. 72 u. f.)

4. Ein Manometer. (A. P. B. nach at geteilt, ausreichend auch für Probedruck). Anordnung eines Stützens für ein Prüfungsmanometer erforderlich. Wassersack zweckmäßig. Deutliche Marke für höchsten zulässigen Dampfüberdruck auf dem Manometerzifferblatt vorgeschrieben.

5. Eine Dampfpeife. Preufs. Norm.: Peife mit Doppelton, leiserer Ton für Rangierzwecke usw. Auf Neben- und Lokalbahnen, wenn unbewachte Wegetübergänge vorhanden sind, eine **Läutevorrichtung** (BO. § 36; Gz. f. L. § 58 u. 111), meist Dampfbläutwerk, Bauart Latowsky, Höltken u. Dunkel, Hofmann.

6. **Fabricschild** (B.O. § 36, T.V.* § 107, Gz. f. L. § 68, A. P. B. § 11). Es müssen am Kessel der höchste zulässige Dampfüberdruck, der Name (A. P. B. und Wohnort) des Fabrikanten, die laufende Fabriknummer und das Jahr der Anfertigung in auch nach Um-mantelung leicht erkennbarer und dauerhafter Weise (A. P. B. auf metallenen Schild mit versenkt vernieteten kupfernen Stiftschrauben) angegeben sein. — Ferner nötig an der Lokomotive: Angabe der größten zulässigen Fahrgeschwindigkeit nach Maßgabe der Bauart der Lokomotive (B.O. § 36; T.V.* § 107; Gz. f. L. § 68), sowie Angabe der Eigentumsverwaltung, Name oder Ordnungsnummer, Fabrikant, Fabrikjahr und Fabriknummer; üblich ferner Untersuchungsschild.

7. **Entleerungsvorrichtung** (A. P. B. § 4), meist Hahn am unteren Teile der Feuerbüchse; entweder je einer auf jeder Seite oder nur einer in der Vorderwand bei schrägem und in der Hinterwand bei waagrechttem Roste. Sie erhalten rundes Gewinde (preuß. Norm.: 52,5 mm Kern Durchmesser, 8 Gänge auf 30 mm) zum Anschrauben des Füllschlauches. Im Ausland bisweilen auch Schaumhähne, in Höhe des mittleren Wasserstandes, um Schaum von der Oberfläche abzublasen.

8. **Aschkasten** (B.O. § 36, T.V.* § 96, Gz. f. L. § 59) ferner Funken-sieb. (Vrgl. S. 901.)

Weitere Ausrüstung:

9. **Reinigungsöffnungen** an der tiefsten Stelle des Langkessels, im Feuerbüchsmantel in Höhe der Feuerbüchsdecke sowie in den tiefsten Punkten der vorderen und hinteren Feuerbüchsecken und der Rauch-kammer-Rohrwand, vereinzelt auch kleine Mannlöcher unten im Lang-kessel. — Reinigungsschrauben auch im Bodenringe, wenn der Aschkasten deren Zugänglichkeit nicht behindert.

10. **Dampfheizung** meist an besonderem, außerhalb des Führer-hauses liegendem Stutzen durch Niederschraubventil angeschlossen, Leitungsrohre etwa $35\frac{1}{2}$ mm Dmr., mit Gefälle verlegt, meist gut um-hüllt. Lage der Anschlüsse an den Lokomotivenden vrgl. T.V.* § 82.

11. **Hülfsläser**. Hahn oder neuerdings häufiger Ventil, Leitung etwa 13 mm l. W., kranzförmig um Blasrohrkopf mit größerer Anzahl 3 mm-Löcher mündend.

12. **Anschlüsse zu Wasserhebevorrichtungen** (T.V. § 103, Gz. f. L. § 64) sollen in der Form denen der Dampfheizung entsprechen. Die Anschlussstellen sollen innerhalb zweier senkrecht zum Gleise stehenden Kreisflächen von 2,5 m Halbmesser liegen, deren Mittelpunkte sich in je 2 m Entfernung von der Mitte des Gleises in Schienenhöhe befinden.

13. **Absperrschieber (Regler)** möglichst hoch (im Dome) liegend, meist als entlasteter Schieber (doch auch als Doppelsitzventil, namentlich in Nordamerika, oder mit Entlastungsvorrichtung, z. B. Bauart Zara, Schmidt u. Wagner u. a. m.) ausgeführt. Größter Querschnitt*) etwa 0,04 bis 0,08 des Zylinderquerschnitts. Andrücken des Schiebers an seine Fläche, abgesehen vom Dampfdruck, durch Feder, so daß er abklappen kann; Schmiervorrichtung oben auf dem Dom. Bewegung des Schiebers durch Gabel und Welle; letztere 40 bis 45 mm dick, liegt

*) Für Berechnung des geringsten zulässigen Querschnittes vrgl. Aufsatz von Langrod, Gl. A. 1903 I. S. 3.

meist im Kessel und ist im Reglerkopf und in der Reglerstopfbüchse gelagert. Handhebel für den Führer meist in Kesselmitte und in senkrechter Ebene zu bewegen.

Im Auslande und bei kleinen Lokomotiven meist nur einfacher Flachschieber auf dreieckiger Öffnung. Bewegung durch seitliche Hebel und Zugstangen. In Amerika meist Sperrklinke mit Zahnkranzbogen.

14. **Dampfeinströmröhre** beginnen im Reglerkopfe mit 100 bis 160 mm l. W., etwa 6 mm Wandstärke, meist flusseisern, kupferne zu leicht durch Dampf zusammengedrückt, teilen sich in der Rauchkammer durch das Kreuzrohr in 2 Röhre von etwa 90 bis 150 mm. Weite Röhre zweckmäßig, um zu starke Druckschwankungen im Schieberkasten zu verhüten. Ueberströmröhre bei Verbundmaschinen, zugleich Verbinder, etwa 140 bis 170 mm weit. — **Ausströmröhre** etwa 130 bis 200 mm weit, 4 bis 5 mm Wandstärke. Die Querschnitte der Ein- sowie der Ausströmröhre entsprechen ungefähr den entsprechenden Kanalquerschnitten. Reglerkopf, Knierohr und Kreuzrohr aus Gufseisen, die übrigen Röhre meist aus Flusseisen.

Röhre und Armaturteile werden meist durch **Linsen** gedichtet. Baustoff der Armaturen meist Rotguß, empfehlenswerte Legierung: 89 Cu, 4 Sn, 6 Zn, 1 Pb mit geringem Zusatz von Phosphorkupfer, doch schreiben die meisten Bahnen bestimmte Legierung vor.

15. **Kesselbekleidung** zum Schutze gegen Abkühlung durch Eisenblech (namentlich im Auslande sogen. Glanzblech, das keiner Lackierung bedarf) 1 bis 1,5 mm stark, in etwa 30 bis 40 mm Abstand vom Kessel; zusammengehalten durch Zugbänder von 50.2 mm Querschnitt. Gegenüber den Stehbolzenanbohrungen kleine runde Ausschnitte. Zwischen Bekleidung und Kessel Wärmeschutzmasse: Filz, Holz, Asbestmatratzen, Magnesia.

e. Lokomotivmaschine.

1. Zugkraft und Leistung.

1. Die **mittlere Zugkraft** Z (in kg) am Triebbradumfang ergibt sich nach S. 768.

Das Verhältnis der **größten Zugkraft** Z_m (in kg) während einer Umdrehung der Kurbel zur mittleren Zugkraft Z beträgt bei einer theoretischen Füllung von 100 vH

$$\frac{Z_m}{Z} = \frac{\pi}{4} \left(\sqrt{2} + \frac{s}{2l} \right) = 1,11 + 0,78 \lambda,$$

worin s der Kolbenhub, l die Länge der Schubstange, $\lambda = s : 2l = r : l$.

Während einer Umdrehung treten vier Maxima auf: 1,11 Z , $(1,11 + 0,78 \lambda) Z$, 1,11 Z und $(1,11 + 0,78 \lambda) Z$. Meist ist

$$\lambda = r : l = 1 : 5,5 \text{ bis } 1 : 9.$$

2. Zugkraft Z_a beim Anfahren. Bezeichnet

W_a den Widerstand beim Beginne des Anfahrens in kg,

W den Z entsprechenden Widerstand im Beharrungszustande in kg,

Q_s das gesamte Zuggewicht einschl. Lokomotive und Tender in t,

$v = V : 3,6$ die Fahrgeschwindigkeit im Beharrungszustande in m/sk,

t die zum Anfahren nötige Zeit in sk,
 g die Beschleunigung durch die Schwere = $9,81 \text{ m/sk}^2$,
 so ist nach Grove die mittlere Zugkraft beim Anfahren in kg

$$Z_a = \frac{1000 Q_s v}{g t} + \frac{W + 2 W_a}{3}.$$

In der Regel nimmt man $Z_a \geq Z + 1000$ (bis 1500) kg; doch genügen nötigenfalls bei Durchfahren langer Strecken und namentlich bei vierzylindrigen Lokomotiven auch etwas geringere Werte.

Die Reibungsziffer $\mu = 1/7$ bis $1/6$ bei zweizylindrigen Lokomotiven, $1/6$ bis $1/5$ bei vierzylindrigen Lokomotiven, bei Nässe u. dgl. erheblich niedriger, bei guten Sandstreuern bis $1/4$ (vgl. auch S. 768).

Stets muß $Z_a < \mu L_1$ (Zugkraft aus dem Reibungsgewichte) sein 1)

3. Zugkraft Z aus der Maschinenleistung. Bezeichnet

d den Kolbendurchmesser in cm (bei Verbundlokomotiven denjenigen des Niederdruckzylinders),

s den Kolbenhub in cm (s. S. 906),

D den Durchmesser der Triebräder in cm (s. S. 909),

p_i die mittlere indizierte Dampfspannung in at,

p den Kesselüberdruck in at,

η den Wirkungsgrad der Maschine (etwa 0,76 bis 0,90),

so ist die mittlere Zugkraft, welche die Maschine am Triebtradumfang entwickelt,

$$\left. \begin{aligned} Z &= \eta p_i \frac{d^2 s}{D} \text{ bei Zwillingslokomotiven} \\ Z &= 0,5 \eta p_i \frac{d^2 s}{D} \text{ bei Verbundlokomotiven} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Zugkraft aus der} \\ \text{Maschinenleistung} \end{array} \quad \cdot \quad 2)$$

Bei gegebener Zugkraft folgt der Kolbendurchmesser

$$d = \sqrt{\frac{Z D}{\eta p_i s}} \quad \text{bzw.} \quad d = \sqrt{\frac{Z D}{0,5 \eta p_i s}} \quad (\text{vgl. jedoch unten Werte } C:H) \quad 3)$$

Für das Verhältnis $\eta p_i : p$ gibt v. Borries*) für Dauerleistung folgende Werte an:

Gattung	Zwillings- wirkung	Verbundwirkung. Verhältnis der Zylinderräume			
		1 : 2	1 : 2,35	1 : 2,5	1 : 2,9
Personen- und Schnellzug- lokomotiven	0,50	0,44	0,42	0,40	0,33
Güterzug- und sonstige Lokomotiven	0,60	0,50	0,48	0,45	0,40

Vorstehende Werte setzen Füllungsgrade von 0,3 bis 0,4 für Zwillings- und 0,5 bis 0,6 für Verbundlokomotiven voraus, entsprechen also einer vollen, nicht einer wirtschaftlich günstigen Ausnutzung, ergeben daher die geringstzulässigen Kolbendurchmesser.

Für die normal auszuübende Dauerleistung wähle man entsprechend den niedriger liegenden günstigsten Füllungsgraden $\eta p_i : p$ etwa 25 vH kleiner. Haben Verbundloko-

*) S. E. T. d. G. Abschn. Lokomotiven S. 56.

motiven stark veränderliche Leistungen herzugeben, so ist das Verhältnis der Zylinder-räume möglichst dem Wert 1:2 zu nähern. Für vereinzelte, besonders starke Beanspruchung ist Umschaltvorrichtung für Frischdampfabe auch in NDZ nötig.

Für das Anfahren muß die Maschine imstande sein, bei der der Steuerung entsprechenden größten Füllung (meist = 0,7, wofür γp_i ; p = etwa 0,7 — die Amerikaner rechnen mit 0,85) die Zugkraft Z_a zu entwickeln.

4. Zugkraft aus der Kesselleistung ergibt sich aus

$$Z = \frac{75 N}{v} = \frac{270 N}{V} \dots\dots\dots 4)$$

Werte für N : H s. S. 890 u. f. Für Ueberschlagsrechnungen gilt:

$$Z = (162 : V + 142 : \sqrt{V}) H$$

für Güterzuglokomotiven,

$$Z = 166,5 H : \sqrt{V}$$

für Personen- und Schnellzuglokomotiven.

Für Dauerleistungen gilt nur der kleinste Wert aus den Formeln 1) bis 4), während für zeitweilige Erfordernisse (z. B. Erklimmen starker, aber kurzer Steigungen) die Maschine erheblich mehr leisten kann als der Kessel.

2. Zylinder und Kolben.

Zylinder (Gufseisen, K_z etwa 18 kg/qmm) meist aufsen wagerecht am vorderen Ende des Rahmens angebracht. Innenzylinder (bei nur 2 Zylindern) fast nur noch in England. Gencigte Lage nur gezwungenerweise bei Innenzylindern wegen vorderer Kuppelachse usw. oder bei aufsenliegenden Zylindern (namentlich bei Verbundlokomotiven) wegen Normalprofils, Neigung bis etwa $1/8$. — In den tiefsten Punkten der Zylinder und Schieberkästen Ablaufshähne oder -ventile, die vom Führerstand aus alle gleichzeitig bedient werden. Oft auch im Ausströmkanal kleine Bohrung mit stets offenem Röhrchen nach aufsen. Bei Lokomotiven für lange Gefällstrecken Luftventile oder in Amerika meist Umlaufventile; an den Niederdruckzylindern Sicherheitsventile (für etwa halben Kesseldruck), meist mit Luftventil vereinigt. Bei Anwendung von Kolbenschiebern auch am Hochdruckzylinder Sicherheitsventile.

Wandstärke δ des Zylinders von Dmr. d mit Rücksicht auf späteres Ausbohren (preufs. Vorschr.: bis 12 mm) gröfser, als rechnerisch erforderlich, meist etwa (in cm)

$$\delta = 0,025 d + 1,5 \text{ für HDZ,}$$

$$\delta = 0,015 d + 1,5 \text{ „ NDZ.}$$

Kolbenhub meist 600 bis 660 mm, aber auch bis 720 mm (Oesterreich, England, Amerika), Kolbengeschwindigkeiten bis 7 m/sk, bei kleinen Lokomotiven Kolbenhub $s = 0,45$ bis 0,55 des Treibraddurchmessers.

Es muß jedoch bei Normalspur etwa $s < D - 46$ cm sein, damit die Stangenköpfe nicht in die Umgrenzungslinie (s. Abb. 103, S. 888) hineinragen.

Kolben und Kolbenstange (Flufsstahl, $K_z = 50$ bis 60 kg/qmm, Dehnung $\varphi > 20$ vH) werden durch Verschraubung verbunden, oder die Stange wird warm eingezogen und vernietet. Kolbenringe, tragend, meist 2, bisweilen auch 3 Stück, aus weichem Gufseisen, selbstspannend, 12 bis

16 mm dick, 25 bis 30 mm breit. Durchmesser der Stangen etwa 0,16 des Zylinderdurchmessers (bei Verbundlokomotiven des Hochdruckzylinders). Bei Zylinderdurchmessern von über 450 mm ist durchgehende Kolbenstange zu empfehlen.

Stopfbüchse meist mit Metallpackung, für Schieberstangenstopfbüchsen Talkumpackung vorzuziehen, da Metallpackung des wechselnden Hubes wegen nicht so gut dichtet.

Kreuzkopf (aus Flußeisen oder Stahlformguß) entsprechend der Anordnung von 4, 2 oder einer Gleitschiene. Gleitfutter Rotguß oder Weißguß (letzteres besonders in Amerika, Babbitt-Metall).

Kurbel- und Kuppelstangen (Material wie Kolbenstangen) entweder voll oder J- oder I-förmig ausgefräst. Vrgl. I. Bd. S. 940 u. f.

3. Steuerungen. Vrgl. auch II. Bd. S. 148 u. f.

Bei Lokomotiven gewöhnlich **Kulissensteuerungen** (s. II. Bd. S. 183) mit einem Flachschieber oder Kolbenschieber angewendet: Stephenson, Gooch, Allan, Heusinger und Joy, auch vereinzelt mit getrennten Ein- und Auslaßschiebern, ähnlich der Corliss-Steuerung (Bauart Durant-Lencauchez, Frankreich), neuerdings auch mit Ventilen (Lentz Stumpf).

Mittlere Verhältnisse für die ersten drei Steuerungen: Exzentrizität $r = 50$ bis 80 mm; äußere Deckung $e = 15$ bis 30 mm; innere Deckung $i = 0$ bis 10 mm, Voreilwinkel 10° bis 35° . Querschnitt der Einströmkanäle bei Kanalschiebern $f = \frac{1}{15}$, bei einfachen Muschelschiebern bis $\frac{1}{12}$ der Kolbenfläche. Länge der Kanäle um 60 bis 100 mm (bei NDZ bis 200 mm) geringer als Zylinderdurchmesser, dadurch Breite bestimmt. Querschnitt des Ausströmkanals $= 1,5$ bis $2f$.

Schieber meist als Kanalschieber (Trick), große Schieber meist entlastet, aus Rotguß (auf langen Gefällstrecken nicht bewährt) oft mit Weißgußeingüssen oder aus weichem Gußeisen. Flachschieber namentlich für Hochdruckzylinder meist entlastet. Mehrfach Kolbenschieber, namentlich für Heißdampf. Schmierung meist vom Führerstande aus durch Dampfschmierapparate (Nathan, de Limon usw.), auch Schmierpressen; letztere bevorzugt bei Heißdampf.

Ventile (Lentzsteuerung) aus Gußeisen doppelsitzig, Durchmesser etwa $\frac{1}{4}$ des Kolbenhubs, Hub etwa 7 bis 14 mm, betätigt durch Nockenstange.

Umsteuerung meist durch **Schraubensteuerung**; bei Rangiermaschinen und in Amerika meist Hebelsteuerung; vereinzelt (in England, Belgien) Dampfsteuerapparat. Zur Erleichterung des Umsteuerns wird das Gewicht der zu hebenden oder zu senkenden Teile durch Gegengewichte oder (Amerika) durch Federn ausgeglichen.

Steuerungsteile meist aus Flußeisen, reibende Teile im Einsatz gehärtet, in den Gelenken Buchsen aus Stahl oder Phosphorbronze, Bolzen ebenfalls im Einsatz gehärtet.

4. Trieb- und Kuppelradsätze und deren Gegengewichte.

Achsen. Alle scharfen Absätze sind zu vermeiden. Baustoff: Flußstahl von 0,25 bis 0,3 vH C-Gehalt; $K_z > 50$ bis 60 kg/qmm, Dehnung $\varphi > 25$ vH, für Krummachsen meist bis 3prozentiger Nickelstahl. $K_z > 55$ kg/qm, $\varphi > 25$ vH. Bei Aufsenschenkeln sei der Nabendurch-

messer und bei Innenschenkeln der Schenkeldurchmesser für Stahl nach v. Borries

bei Triebachsen: $d = 6 \sqrt[3]{P(D + 500)}$ in mm,

bei Laufachsen: $d = 65 \sqrt[3]{P}$ in mm,

wenn P die gesamte ruhende Achsbelastung in t und D den Raddurchmesser in mm bezeichnet.

Räder. Stahl- oder Flusseisenformguss-Speichenräder, die mit 60 bis 100 t Druck hydraulisch auf die Achsen gepreßt werden (preuss. Vorschr.: 300 kg Druck für 1 mm Dmr.). Beim Vorwärtsgange der Lokomotive soll die rechte Kurbel um 90° voraneilen. Zur Sicherung gegen das Verdrehen der Räder gegeneinander je ein Stahlkeil (preuss. Norm. 15.30 mm Querschnitt). Bei grossen Innenzylindern werden die Radsterne, um Platz für die Lager zu gewinnen, bis 60 mm nach aussen gesprengt. — Weiteres über Räder und Radreifen s. S. 870 u. f.

TV. § 102 empfehlen, nachstehende minutliche Umdrehungszahlen (bei neuen Reifen) in der Regel nicht zu überschreiten bei

A. mindestens einer Achse unter oder hinter der Feuerbüchse:

Lage der Zylinder	Aussen oder 2 aussen, 1 innen	Innen oder je 2 aussen und innen mit gegenläufigem Triebwerk
a) in vorderem Drehgestell vereinigte Laufachsen		
1. freie Triebachse oder 2 oder 3 gek. Achsen	320	360
2 4 gek. Achsen	260	280
3 5 „ „	230	280
b) mit vorderer Laufachse oder vorderem Deichselgestell		
1. freie Triebachse oder 2 oder 3 gek. Achsen	280	310
2 4 gek. Achsen	260	280
3. 5 „ „	230	280
c) ohne vordere Laufachse		
1. freie Triebachse oder 2 oder 3 gek. Achsen	260	280
2. 4 oder 5 gek. Achsen	200	250
B. Feuerbüchse überhängend und beliebiger Zylinderlage:		
1 2 oder 3 gek. Achsen mit vorderer Laufachse, vorderem Dreh- oder Deichselgestell.		240
2. 2 oder 3 gek. Achsen ohne vordere Laufachse, vorderes Dreh- oder Deichselgestell		220
3. 4 oder 5 gek. Achsen mit und ohne vordere Laufachsen		180
C. Triebdrehgestellen, mit oder ohne überhängende Feuerbüchse und beliebiger Zylinderlage		200

Für Lokomotiven mit 2 Fahrrichtungen gelten jeweils die Ziffern, welche der Radfolge in der betreffenden Fahrrichtung entsprechen.

Ist V in km/st, so nehme man den Durchmesser D zweckmäßig, u zw. in cm, $D = 60 + 1,3 V$.

Ferner wähle man den Durchmesser der Laufräder 0,85 bis 1,25 m.

Das **Gewicht** der Radsätze für Vollbahnlokomotiven ist bei 10 bis 14 t Achslast und 65 mm starken Reifen annähernd bei

Triebrädern: $G = (D + 1600)$ kg,

Kuppelrädern: $G_1 = (1,4 D + 350)$ kg,

Laufrädern: $G_2 = 1,2 D$ kg,

wo D der Raddurchmesser in mm ist.

Gegengewichte. Die einzelnen Bedingungen des ruhigen Ganges der Lokomotive (d. s. großer Radstand, wagerechte Zylinderlage, geringe Entfernung der Zylindermitten, große Entfernung der Tragfedern der Achsen, große Radbelastungen, mittlere Kreuzkopflage möglichst nahe der zur Bahnachse senkrechten Schwerebene) lassen sich nicht gleichzeitig erfüllen. Dagegen können die störenden Bewegungen der mit den Trieb- und Kuppelrädern verbundenen Massen der Kolben, Kolbenstangen, Kreuzköpfe, Schubstangen, Trieb- und Kuppel-Kurbeln, Zapfen und Kuppelstangen durch Anbringen von Gegengewichten teilweise beseitigt werden. Es ist jedoch nicht möglich, diese störenden Bewegungen durch drehende Gegengewichte völlig zu beseitigen.

Der Schwerpunkt der auf beiden Lokomotivseiten gleichmäßig vorhandenen Trieb- und Kuppelmassen liegt in der senkrechten Ebene durch die Längsachse der Lokomotive; er bewegt sich während der Fahrt gegen den Gesamtschwerpunkt hin und her und bewirkt dadurch das Zucken der übrigen Lokomotivteile, das im entgegengesetzten Sinne erfolgt. Durch die Drehmomente der Massen wird gleichzeitig ein Schwingen des Rahmens um die lotrechte Schwerachse (ähnlich dem Schlingern) hervorgerufen.

Es bezeichne in m bzw. kg (Abb. 105 und 106):

- a die Entfernung der Laufkreisebenen der Räder ($a = 1,5$ m),
- b die Entfernung einer Zylinderachse (also des Schwerpunktes der Triebmassen) von der zunächstliegenden Laufkreisebene; b für Außenzylinder positiv, für Innenzylinder negativ,
- b_1 die Entfernung der Mitte des Kuppelzapfens (also des Schwerpunktes der Kuppelmassen) von der zunächstliegenden Laufkreisebene,
- G_1 das Gegengewicht, das bei der Zerlegung der Gegenmassen auf das einer Kurbel zunächstliegende Rad entfällt,
- G_2 das Gegengewicht, das dabei das andere Rad erhält,
- r den Halbmesser der Trieb- und Kuppelkurbeln,
- r_1 den Schwerpunktabstand der Gewichte G_1 und G_2 vom Achsmittel.
- K das Gesamtgewicht von Kolben, Kolbenstange und Kreuzkopf,
- S das Gewicht der Schubstange,
- P das Gewicht des Kurbelzapfens und des auf ihn bezogenen Kurbelarmes,
- Q das Gewicht des Kuppelzapfens und (bei Innenzylindern) des auf ihn bezogenen Kuppelarmes nebst dem Gewichte des zugehörigen Kuppelstangenanteiles,

$\alpha = 0,15$ bis $0,4$ für Personenzug-Lokomotiven, je nach der Bauart und der größeren oder geringeren höchst zulässigen Fahrgeschwindigkeit (vgl. S. 908),

$\alpha = 0,5$ bis $0,6$ für Güterzug-Lokomotiven,

Abb. 105.

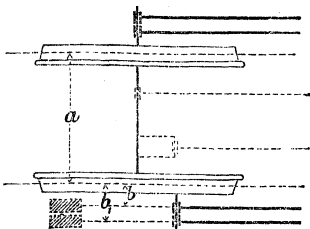
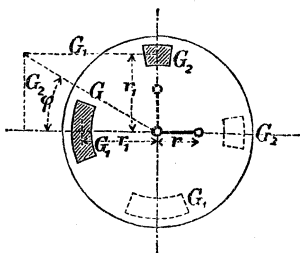


Abb. 106.



so ist für ein Triebbad

$$G_1 = [\alpha (K + 0,4 S) + 0,6 S + P] \frac{r_1}{r_1} \frac{a \pm b}{a} \pm Q \frac{r_1}{r_1} \frac{a + b_1}{a},$$

$$G_2 = [\alpha (K + 0,4 S) + 0,6 S + P] \frac{r_1}{r_1} \frac{b}{a} \pm Q \frac{r_1}{r_1} \frac{b_1}{a};$$

hierbei gilt beim letzten Summanden $+$ für gleich gerichtete und $-$ für entgegengesetzt gerichtete Kuppel- und Triebkurbeln (d. h. $+$ für Außen- und $-$ für Innenzylinder). Für ein Kuppelrad ist

$$G_1 = Q \frac{a + b_1}{a} \frac{r_1}{r_1} \quad \text{und} \quad G_2 = Q \frac{b_1}{a} \frac{r_1}{r_1}.$$

Die Gewichte G_1 und G_2 werden ersetzt durch ein einziges Gegengewicht G , das im Abstände r_1 dieselbe Fliehkraft besitzt wie G_1 und G_2 zusammen. Ist φ der Winkel, den G und G_1 bilden, so ist

$$G = \sqrt{G_1^2 + G_2^2} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{G_2}{G_1}.$$

Einfacher und übersichtlicher ist die zeichnerische Ermittlung *)

Bei außenliegenden Zylindern erhält die voreilende Kurbel ein um den Winkel φ voreilendes G und die nacheilende Kurbel ein um φ nacheilendes G . Bei Innenzylindern findet das Umgekehrte statt. — Außenzylinder erfordern ein größeres G als Innenzylinder; Innenzylindermaschinen mit entgegengesetzten Trieb- und Kuppelkurbeln erhalten bei zweizylindrigem Triebwerk die kleinsten Gegengewichte.

T V. § 102 empfehlen die hin- und herbewegten Massen zu 15 bis 60 vH, und zwar umsomehr auszugleichen, je kleiner der Radstand im Verhältnis zur ganzen Länge der Lokomotive ist.

Vierzylinderlokomotiven mit entgegengesetzt gerichteten Kurbelpaaren bedürfen keines Ausgleichs der hin- und hergehenden Massen.

Die drehenden Massen werden an jedem Rade für sich ausgeglichen, das ausgleichende Gewicht der hin- und hergehenden Massen auf Trieb-

*) Vgl. Organ für Fortschr. des Eisenb.-Wesens 1901 S. 129.

und Kuppelräder oder, wenn an den Triebrädern kein Platz mehr vorhanden, auf letztere allein gleichmäßig verteilt.

Zu untersuchen bleibt stets die durch den Anteil der hin- und hergehenden Massen am Gegengewichte erzeugte und abwechselnde Ent- und Belastungen hervorrufoende Fliehkraft. Diese ist:

$$C = 4 M_1 r n^2 \cdot 1,2 \text{ für Aufsenzylinder} \\ \text{und } 4 M_1 r n^2 \cdot 0,75 \text{ „ Innenzylinder,}$$

wobei M_1 die Masse des ausgleichenden Gewichtes der hin- und hergehenden Massen ist.

Bei neu zu bauenden Lokomotiven darf bei der größten zulässigen Geschwindigkeit die Fliehkraft C an keinem Rade mehr als 15 vH des ruhenden Raddruckes betragen (T V.* § 102).

f. Das Gestell der Lokomotive.

1. Rahmen.

Rahmen meist innerhalb der Räder; außerhalb meist nur bei schmalspurigen Lokomotiven, um breiteren Rost unterzubringen; an der Rauchkammer fest mit dem Kessel zu verbinden; Verbindung mit dem Feuerbüchsmantel muß Längsverschiebung gestatten, ausgeführt Gleitlager (Rotgussplatte), Pendelstützen oder biegsame Blechstützen (7 bis 10 mm stark).

Plattenrahmen bestehen aus einer 20 bis 35 mm starken Flußeisenplatte; Höhe über den Achsbüchsen mindestens 300 bis 450 mm, sonst Verstärkungsplatten aufzunieten; kräftige Querversteifungen, namentlich in der Gegend der Zylinder und Treibachsen, aus Stahlformguß, Blechen mit Winkeln oder Preßblechen. Bei Tenderlokomotiven wird der Rahmen meist als Wasserkasten ausgebildet, Rahmenplatten 7 bis 12 mm stark, sonstige Bleche 6 bis 8 mm.

Barrenrahmen (Amerika, Süddeutschland) aus Flußeisenstäben zusammengescheiwt oder aus Stahlformguß hergestellt, meist aus zwei bis drei Teilen zusammengeschaubt, Schraubenverbindungen durch Keile entlastet, Querschnitt meist 100×100 mm, jedoch auch bis zu 152×152 mm. Bisweilen Versteifung durch den Kessel mittels eines um diesen gelegten Bandes. Vereinzelt werden Barrenrahmen auch aus entsprechend dicken Platten herausgearbeitet.

Lichter Abstand der Rahmenplatten etwa Spurweite — (a mm $+ 2 \times$ Rahmenstärke), wobei a etwa 95, 110 bis 120 145 bis 155 mm bei 600, 900, 1435 mm Spurweite, Preufs. Norm.: 1240 mm. Bei Drehgestellen oder verschiebbaren Achsen Rahmen ausgeschnitten, so daß Räder untertreten können, oder eingezogen. Einziehung entweder durch einmaligen Knick (Rahmen dann nach dem Ende schräg zulaufend, in England üblich) oder durch doppelten \sim -förmigen Knick, oder Anstücken mit entsprechender Zwischenlage.

Drehgestellrahmen auch entweder als Plattenrahmen, 18 bis 25 mm stark, oder Barrenrahmen, etwa 60×75 mm. Gute Versteifung nötig. Lastübertragung entweder unmittelbar durch lange Feder auf die Drehgestellachsbüchsen (Hannoversches Drehgestell) oder durch das Drehgestell hindurch. Bauart so, daß nur Drehbewegung (um Kugelpapfen) oder Drehbewegung und Seitenausschlag; im letzteren Falle stets Rück-

stellvorrichtung durch Blattfedern, Schraubenfedern oder durch eigenes Gewicht mittels Wiege, Schraubenflächen usw.

2. Radstand.

Der Radstand soll um so größer sein, je größer die beabsichtigte Fahrgeschwindigkeit ist. Als **größte Radstände** r (bei festen Achsen) werden in Rücksicht auf Schonung des Oberbaues und der Fahrzeuge empfohlen (nach T. V. § 87 u. Gz. f. L. § 78), wenn in freier Strecke vielfach Krümmungen vorkommen mit Halbmessern

R	= 25	40	50	75	100	125	150	180	210	250	300	400	500 m,
r	= 1,1	1,5	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,8	5,4 m.

Für Lokomotiven, bei denen r die vorstehenden Grenzen übersteigt, wird die Anwendung drehbarer oder verschiebbarer Achsen oder von Drehgestellen empfohlen (T. V. § 88; Gz. f. L. § 51). Der **feste Radstand** muß, abgesehen von Drehgestellen, mindestens 2,5 m und darf bei neuen Fahrzeugen höchstens 4,5 m betragen (B. O. § 30).

Für Lokomotiven empfiehlt es sich bei kurvenreichen Strecken, die Spurkränze der vorderen, bei Tenderlokomotiven außerdem die der rückwärtigen Räder während der Fahrt zu schmieren (T. V. § 89; Gz. f. L. § 52). Dazu dient Oel (Oelkissen), Kesselwasser, bei Tenderlokomotiven Frischwasser aus den Zisternen oder auch das Niederschlagwasser aus der Abdampfleitung der Luftpumpe.

In England läßt man größere feste Radstände zu, gibt aber dann einzelnen Treibachsen geringes Seitenspiel (1 bis 3 mm) in den Achslagern.

Für Werkbahnen pflegt man etwa bei Radstand r die nachstehenden kleinsten Krümmungshalbmesser R_w anzunehmen, doch finden sich vereinzelt Unterschreitungen des R_{\min} bis zu R_{\min} :

r	= 0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0 m,
R_w	= 10	12	15	18	30	40	45	55	80	100 m,
R_{\min}	= 7	8,5	10	11,5	14	18	22	27	40	55 m.

Radstand der Drehgestelle siehe unten.

3. Verschiebbare Treibachsen.

Um ein Zwängen der Spurkränze bei drei oder mehr gekuppelten Achsen zu vermeiden, werden die Spurkränze mittlerer Achsen schwächer gedreht oder bei kleinen (in Amerika auch bei großen Lokomotiven, unter Umständen auch an der Treibachse) fortgelassen (zulässig nach B. O. § 31). Die Reifen müssen jedoch in Krümmungen von 180 m und bei 1470 mm Spurweite auch bei Querverschiebbarkeit der Endachsen und größter Spurkranzabnutzung noch 45 mm Auflage auf der Schiene haben (T. V.* § 69). Zweckmäßiger ist es, einzelne Kuppelachsen parallel seitlich verschiebbar zu machen, event. bis zu 30 mm, weil hierdurch der Seitendruck beim Befahren von Krümmungen auf mehrere Achsen verteilt und dadurch die Reifen geschont werden. Das Achslager erhält auf dem Schenkel entsprechend Luft, die Kuppelzapfen werden zylindrisch um das doppelte Maß des Seitenspiels verlängert oder kugelförmig ausgebildet, oder die Stangenlager werden mit entsprechendem Gelenk (Bauart

Hagens) versehen. Wenn Radstand und Lage der Treibachse, die fest bleiben soll, dies gestatten (die der ersten festen führenden Achse folgende Achse soll möglichst ein der schärfsten Krümmung entsprechendes Seitenspiel erhalten, TV. § 88), so erhält seitliche Verschiebbarkeit

bei $\frac{3}{3}$ gek. Lokomotiven die zweite Achse,
 „ $\frac{4}{4}$ „ „ „ „ und vierte Achse,
 „ $\frac{5}{5}$ „ „ „ „ erste, dritte und fünfte Achse.

Rückstellvorrichtungen werden meist nicht angewendet.

Bei $\frac{3}{5}$ gek. Schnellzuglokomotiven mit Drehgestell erhält bisweilen die letzte Kuppelachse 5 bis 10 mm Seitenspiel.

4. Verschiebbare Laufachsen und Drehgestelle.

Parallel verschiebbare Laufachsen erhalten meist Rückstellvorrichtung durch schräge Flächen oben auf den Achslagern. Meist wird bei verschiebbaren Laufachsen radiale Einstellung bei Verschiebung verlangt. Einfachste Ausführung: Adam-Achse, Deichselgestelle usw., die (TV. § 88) für V bis 80 km/st geeignet erachtet werden. Das Seitenspiel soll so stark sein, dafs auch in den schärfsten Krümmungen die Spurkränze des nachfolgenden festen Räderpaares zur Anlage kommen. Ist

a der feste Radstand,

c der Radstand von der verschiebbaren bis zur ersten festen Achse,

R der Krümmungshalbmesser,

so ist der seitliche Ausschlag

$$d = \frac{(a+c)^2 - a^2}{2R},$$

(wird geringeres Seitenspiel ausgeführt, so erhält die Laufachse in starken Krümmungen zu großen Seitendruck und neigt zum Entgleisen) und der Deichselarm bzw. der Halbmesser für die Krümmung der Achsbüchseflächen bei Adam-Achsen:

$$r = \frac{(a+c)^2 - a^2}{2(a+c)}.$$

Rückstellvorrichtungen werden bei Adam-Achsen von der österreichischen Staatsbahn auch bei Schnellzuglokomotiven fortgelassen.

Drehgestelle sollen möglichst großen Radstand erhalten (bei Normalspur 2,0 bis 2,2 m üblich, bis zu 2,7 m ausgeführt) und werden meist mit Seitenspiel ausgeführt. Seitenspiel d wird, wenn die hintere Achse gerade innen anlaufen, aber radial stehen soll,

$$d = \frac{a^2}{2R} - 2s,$$

worin a die geführte Länge (von Drehgestellzapfen bis zur Hinterachse), R der Krümmungshalbmesser, s die Spurerweiterung.

Das erforderliche Seitenspiel ist meist nur für Krümmungen bis herab zu 400 m Halbmesser ausführbar. Am Rahmen sind Anschläge nötig.

Da Rahmen und Drehgestelle federn, mache man die wagerechten Spielräume gegenüber Steuerungsteilen usw. 20 bis 30 mm größer, als theoretisch nötig.

Verschiebbare Drehgestelle haben stets Rückstellvorrichtung, Wiege, Federn, Keil- oder Schraubenflächen.

Krauss-Drehgestell besteht aus zwangsläufiger Verbindung einer parallel verschiebbaren Kuppelachse mit radial einstellbarer Laufachse. Unter gleichen Bedingungen wie vor wird:

$$d = \frac{a c_2}{R},$$

worin c_2 die Entfernung des Drehzapfens von der Kuppelachse bedeutet. Neuere Ausführungen des Krauss-Drehgestelles geben dem Zapfen Seitenverschiebbarkeit (Bauart Zara, Henschel u. a.).

5. Gewichtsverteilung.

Gekuppelte Achsen sind möglichst gleichmäßig zu belasten; vorangehende (führende) Laufachsen sind weniger zu belasten als die folgenden Achsen (TV. § 90). Berechnung der Gewichtsverteilung nach erfolgter Schwerpunktermittlung am besten zeichnerisch. *)

6. Tragfedern und Ausgleichhebel (Balanciers).

Die Tragfedern meist Blattfedern, in England auch Spiralfedern; untereinander zur Ausgleichung der Stöße und zur besseren Lastverteilung durch Ausgleichhebel verbunden.

Federstahl gerippt 90×13 mm, bei kleineren Lokomotiven 65×7 oder 75×10 , im Auslande vielfach größere Breiten bis 120 mm. Länge der Federn 950 bis 1200 mm, in Belgien bis 1500 mm. Durchbiegung unter der ruhenden Last etwa 30 bis 40 mm, Pfeilhöhe unbelastet etwa 55 bis 75 mm oder 0 mm. Beanspruchung bei ruhender Last 50 bis 60, bei schlechtem Oberbau 40 bis 50 kg/qmm. Berechnung der Federn s. I. Bd. S. 612 u. f.

Beanspruchung der Federspannschrauben und Gehänge 2 bis 2,5 kg/qmm.

Länge der Federn 750 bis 1200 mm. [Preufs. Norm.: 950 mm lang (gestreckt). Querschnitt des Federblattes von $90 \cdot 13$ mm; Pfeil 10 mm; Gewicht bei 11 Lagen, ausschl. des 100 mm breiten Federbundes, 61,9 kg. Das „Hannoversche“ Drehgestell hat auf jeder Seite nur eine Feder zu 16 Lagen, Länge gestreckt 1200 mm.]

7. Tenderkupplung, Bahnräumer, Bremsen usw.

Zwischen Lokomotive und Tender ist eine **Haupt-** und eine **Notkupplung** anzuordnen, von denen die letztere erst in Wirkung tritt, wenn die erstere sich gelöst hat (TV.* § 100); jedoch dürfen diese oder sonstige Zwischenteile zwischen Maschine und Tender das sichere Durchfahren der Krümmungen nicht behindern (TV.* § 100).

An der vorderen Stirnseite der Lokomotiven und an beiden Seiten der Tenderlokomotiven sind über den Schienen (in 50 bis 70 mm Abstand von diesen) kräftige **Bahnräumer** anzubringen (BO. § 36; TV.* § 98 u. 112; Gz. f. L. § 61 u. 73). Zahnradlokomotiven sollen mit Bahnräumern vor den Zahnradern versehen sein; Strafsenbahnlokomotiven müssen außer den Bahnräumern noch besondere Schutzvorrichtungen erhalten (Gz. f. L. § 61): Verdeckung des Triebwerkes durch Blechkasten.

*) Siehe Gl. A. 1897 I S. 166.

Bremsen. (B.O. § 35; T.V.* § 101; Gz. f. L. § 63.) Tenderlokomotiven müssen ohne Rücksicht auf etwa vorhandene andere Bremsvorrichtungen Handbremse, Personenzug-Lokomotiven für Züge mit $V > 60$ km/st auf Hauptbahnen und $V > 40$ km auf Nebenbahnen durchgehende Bremse mit Triebradbremse besitzen; vrgl. auch S. 877.

Führerstand. (T.V.* § 99; Gz. f. L. § 62.) Das Anbringen von Türen und von (leicht zu beseitigenden) Sitzen wird empfohlen. Preufs. Norm.: Sitze und halbhohle Türen. Seitenwände des Führerhauses bis 1 m, Dach bis 2 m hinter Kesselrückwand zurückstehend. Im Ausland, besonders für warmes Klima, erheblich geringere Abmessungen, jedoch für sehr heißes wie für sehr kaltes Klima oft besondere Rückwand auf dem Tender, auch Jalousien zum Schutz gegen Tropenregen.

Sandstreuer meist mit Dampf- oder Preßluftbetrieb, seltener mit Handbetrieb, gewöhnlich auf dem Kessel oder dem Laufbrett angeordnet. Bei Tendermaschinen müssen auch Rohre hinter den Treib- bzw. Kuppelachsen münden.

g. Verbundlokomotiven.

Verbundlokomotiven besitzen bei gleicher Geschwindigkeit größere Zugkraft, bei gleicher Zugkraft größere Geschwindigkeit als Zwillingslokomotiven und ersparen diesen gegenüber Brennstoff und Wasser.

Ihre Leistungsfähigkeit ist aber besonders bei großen Niederdruckzylindern weniger veränderlich als die der Zwillingslokomotiven; sie sind daher wenig zweckmäßig für Strecken mit wechselndem Profil, aber empfehlenswert dort, wo andauernd gleichbleibende Leistungen verlangt werden.

Ein schnelles Anfahren ist schwieriger (oder bei Wechselventilen umständlicher) als bei Zwillingslokomotiven; sie sind daher für oft anhaltende Züge und Verschiebedienst ungeeignet.

Die Preussischen Staatsbahnen bauen alle Schnellzuglokomotiven mit Ausnahme der Heißdampflokomotiven sowie einen Teil der Güterzuglokomotiven (für durchgehende Güterzüge) als Verbundlokomotiven.

Bauarten.

- a) 2 Zylinder, meist HDZ rechts, NDZ links;
- b) 3 Zylinder,
 - 1. 1 HDZ innen, 2 NDZ außen,
 - 2. 2 HDZ außen, 1 NDZ innen (Webb);
- c) 4 Zylinder,
 - 1. 2 HDZ außen, 2 NDZ innen, in verschiedenen Querebenen, verschiedene Achsen antreibend (de Glehn, Cole),
 - 2. 2 HDZ innen, 2 NDZ oder umgekehrt außen, alle dieselbe Achse antreibend (v. Borries Courtin, Vauclain),
 - 3. auf jeder Seite 1 HDZ und 1 NDZ in Tandem-Anordnung (Ungar. Staatsbahn, Amerika),
 - 4. auf jeder Seite 1 HDZ und 1 NDZ übereinander, mit gemeinsamem Kreuzkopf (Vauclain),
 - 5. auf der einen Seite 2 HDZ, auf der anderen 2 NDZ, und zwar stets je einer außen und einer innen (italienische Staatsbahn),
 - 6. geteiltes Triebwerk, 2 HDZ am festen Rahmen, 2 NDZ am Dampfdruckgestell (Mallet-Rimrott).

Das Ueberströmrohr (Verbinder) meist durch die Rauchkammer geführt, bzw. in einzelne Rohre aufgelöst und als Ueberhitzer ausgebildet.

Zylinderraumverhältnisse bei Zweizylindermaschinen meist nicht gröfser möglich als 1 : 2 bis 1 : 2,25, bei Mehrzylindermaschinen bis 1 : 3. Letzteres Verhältnis gibt bei gleicher Füllung gleiche Arbeitsverteilung, ersteres nur bei höherem Füllungsgrad im NDZ, gewährt aber gröfsere Veränderlichkeit der Leistung.

Füllungsverhältnisse namentlich bei Zweizylindermaschinen bisher möglichst so, dafs beide Zylinder gleiche Arbeit leisten; üblich ist, beide Steuerungen so zu versetzen, dafs bei 40 vH Füllung im HDZ der NDZ 50 bis 60 vH erreicht, doch ist noch gröfsere Füllung des NDZ für die Dampfausnutzung vorteilhafter.

Steuerung. Bei Zweizylindermaschinen beide Steuerungshälften wie oben angegeben versetzt; bei Mehrzylindermaschinen meist beide Steuerungen beliebig gegeneinander verstellbar, oder auch vereinzelt ND-Steuerung mit fester Füllung (70 vH) arbeitend (Bauart Kuhn, Webb, für vierzylindrige Lokomotiven Bauart der P. L. M.-Bahn). — Beide Schieber erhalten keine, oder namentlich beim HDZ negative innere Ueberdeckung (bis zu 8 mm). Bei Tandemanordnung und nicht zu hohen Umlaufzahlen kann höhere ND-Füllung auch durch Nachschleppen des ND-Schiebers erreicht werden (Pariser Gürtelbahn).

Anfahrvorrichtungen*) bei allen Lokomotiven mit nur einem HDZ erforderlich. Grundgedanken: Vergröfserung der HD-Füllung, Einführung von Frischdampf in den NDZ und Unschädlichmachen des Gegendruckes auf den HD-Kolben. Früher meist selbsttätige Anfahrvorrichtungen, die nur für die allerersten Umdrehungen wirkten (Bauart v. Borries, Schichau, Brüggemann, Büte u. a.) bzw. nur solange die Steuerung ausgelegt bleibt (Gölsdorf, Lindner); Ranafier schaltet ein von Schieberstangenstellung abhängiges Ventil ein, das Frischdampfzutritt nicht allgemein, sondern nur in bestimmten Stellungen gestattet, so dafs Gegendrücke vermieden werden, jetzt meist sogen. Wechselvorrichtungen bevorzugt, die jederzeit beliebig langes Umschalten in Zwillingswirkung gestatten (Bauart Mallet-v. Borries, v. Borries, Dultz, Colvin u. a.).

Bei Vierzylindermaschinen meist Umschaltvorrichtung vorhanden, die im Notfalle Fahren mit den HDZ oder den NDZ allein gestattet, neuerdings auch Einführung von Frischdampf aus dem Hilfsdampfrohr in Mitte HDZ, entsprechend einer theoretischen Füllung von 100 vH (Hannover), auch von Lage der Steuerung abhängig gemacht (Fresenius).

h. Heifsdampflokomotiven.

Heifsdampflokomotiven sind dann recht zweckmäfsig, wenn die Beanspruchung in sehr starken Grenzen schwankt, weil die Zylinder ohne nennenswerte Vermehrung der Niederschlagsverluste sehr grofs bemessen werden können; die Lokomotive kann dann für kurze Zeit weit über die Grenze der Leistung des Kessels beansprucht werden.

*) Vrgl. Gl. A. 1897 II. S. 41.

Ueberhitzerbauarten:

Schmidtscher Rauchröhrenüberhitzer, aus kleinen Rohrbündeln von vier Rohren mit etwa 30/38 mm Dmr. in einer Anzahl Rauchröhren von etwa 125/133 mm Dmr. steckend, am verbreitetsten.

Ähnliche Bauarten: Cole (Schenectady)-Ueberhitzer in den Vereinigten Staaten, Horsey Vaughan-Ueberhitzer in Kanada u. a. m.

Farmakowski-Ueberhitzer, aus drei ineinandergesteckten, konzentrischen Rohren in größeren Rauchröhren wie beim Schmidt-Ueberhitzer in Rußland.

Pielock-Ueberhitzer, mitten im Kessel als Kasten die Heizrohre umgebend, vor dem Regulator liegend, in Deutschland.

Clench-Gölsdorf-Ueberhitzer, im vorderen Kesselteil abgetrennter, von den Heizrohren durchzogener Raum, in Oesterreich

Baldwin-Ueberhitzer, in der Rauchkammer liegendes, konzentrisch zum Mantel gebogenes Röhrensystem, in den Vereinigten Staaten.

Atchison-Topeka-Ueberhitzer, von Rohren durchzogene Trommel, in der Rauchkammer oder bei Mallet-Lokomotiven in besonderer Kammer vor dem Speisewasservorwärmer liegend.

Auch Zwischenüberhitzer verschiedentlich ausgeführt, Sächsische, Oldenburgische, Belgische Staatsbahn, Atchison-Topeka-Bahn u. a.

Heizgase können Temperaturen bis etwa 800° aufweisen, ohne Erglühen der Rohre zu bewirken, solange kräftige Dampfbewegung vorhanden; daher meist Reguliervorrichtungen, die bei Dampfabsperrung Gasstrom ebenfalls absperrern. Wo dies nicht möglich, müssen die Ueberhitzer in kühlere Zonen verlegt werden.

Ueberhitzung bei Flachschiebern bis 260°, bei Kolbenschiebern und besonders bei Ventilsteuerung bis über 300° zulässig. Kolbenschieber mit federnden Ringen zweckmäßiger als solche mit ungeteilten Ringen.

Ueberhitzerheizfläche etwa 15 bis 30 vH der übrigen Heizfläche, bei guter Führung der Gase bzw. des Dampfes mit Durchgang von etwa 30 WE/qm für 1° und 1 st zu berechnen. Dampfgeschwindigkeit etwa 20 m. Spezifische Wärme des überhitzten Dampfes s. I. Bd. S. 441. In Dampfleitungen ist Kupfer und Rotgufs auch für die Linsen zu vermeiden.

Zylinderdurchmesser bei Heißdampf etwa 10 bis 15 vH größer als bei Nafsdampf, da die wirtschaftlichen Füllungsgrade niedriger liegen; Kanalquerschnitte möglichst nicht kleiner als bei Nafsdampf.

Stopfbüchsen mit Metalliderung, lang gebaut.

Schmierung mit Oel von hohem Entflammungspunkte, Zuführung durch Schmierpressen bevorzugt, aber nicht durchaus nötig.

Ersparnis an Wasser und Kohle bei Zwillingslokomotiven je nach Ueberhitzung bis zu etwa 25 vH, bei Verbundlokomotiven bis etwa 15 vH möglich. Demgegenüber höhere Beschaffungs- und Unterhaltungskosten.

1. Beispiel zur Berechnung einer Lokomotive.*)

Eine Schnellzugverbundlokomotive soll einen Zug von 40 Achsen zu 8 t auf wagrechter Strecke mit 100 km/st Geschwindigkeit befördern können. Das Gewicht der zweifach gekuppelten Lokomotive + Tender sei zu 70 + 40 = 110 t geschätzt.

*) Eine Anzahl durchgerechneter Beispiele findet sich E. T. d. G. Abschn. Lokomotiven.

Dann ist der Zugwiderstand (vgl. S. 770):

$$W = \left(2,4 + \frac{V^2}{1300} \right) (110 + 40 \cdot 8) = 4340 \text{ kg.}$$

Leistung der Maschine (S. 906) $N = \frac{4340 \cdot 100}{270} = 1605 \text{ PS.}$

Triebbraddurchmesser (S. 909) $D = 60 + 1,3 \cdot 100 = 190 \text{ cm} = 1900 \text{ mm.}$

Umdrehungszahl in der Sekunde $n = \frac{100}{3,6 \cdot \pi \cdot 1,9} = 4,7$, bleibt mit minutlich 60 $4,7 = 282$ erheblich unter der zulässigen Zahl von 360 (S. 908).

Leistung der Heizfläche (S. 889) etwa 7,6 PS/qm.

Erforderliche Heizfläche: 1520:7,6 = 210 qm. Da die Züge im Winter leichter sind, so ist ein Zuschlag für die Heizung nicht gemacht.

Lokomotivgewicht wird, wie Vergleich mit der $\frac{2}{5} S^4 v$ (S. 894) ergibt, mit 70 t richtig geschätzt sein.

Rostfläche (S. 890) bei $H:R = 55$ etwa $210:55 = 3,65 \text{ qm.}$

Kolbendurchmesser: Das Triebwerk sei mit Rücksicht auf lange, ohne Aufenthalt mit $V = 100 \text{ km}$ zu durchfahrende Strecken vierzylindrig gedacht. Als geringste Zylinderdurchmesser ergeben sich dann bei 14 at Dampfdruck und einem Zylinderraumverhältnis 1:2,35 nach S. 916 für den NDZ und HDZ

$$d_n = \sqrt{4340 \cdot 190 : 2 \cdot 0,5 \cdot 0,42 \cdot 1460} = 49 \text{ cm} = 490 \text{ mm.} \quad d_h = \sqrt{490^2 : 2,35} = 320 \text{ mm.}$$

Bei diesen Abmessungen müßte mit etwa 50 vH Füllung gefahren werden, eine Steigerung der Leistung für außerordentliche Fälle ist nur in beschränktem Umfange möglich; auch ist die hohe Füllung von 50 vH nicht mehr die günstigste. Will man mit der wirtschaftlichsten Füllung von etwa 0,35 bis 0,40 auskommen, so wird man bei Annahme von etwa 10 vH schädlichem Raum die Zylinder etwa im Verhältnis $\frac{50+10}{37,5+10} = 1,27:1$, d. h. um 27 vH vergrößern, also mit etwa 350 bzw. 530 mm Dmr. wählen; statt 530 mm sei mit Rücksicht auf den Flächenverlust bei durchgehender Kolbenstange 540 mm ausgeführt.

Reibungsgewicht (S. 768 u. 905). Bei Ausnutzung des zulässigen Achsdruckes von 16 t werden 2 Achsen mit $2 \cdot 16 = 32 \text{ t}$ Reibungsgewicht genügen.

Größte Anzugkraft (S. 905) aus Reibungsgewicht ist $Z_m = 32000 \cdot \frac{1}{5,5} = 5820 \text{ kg}$, also noch rd. 1500 kg größer als die bei $V = 100 \text{ km}$ erforderliche Zugkraft. In den HDZ wird diese Anzugkraft überschlägig eine Füllung von

$$(37,5 + 10) \frac{5820}{4110} - 10 = 57 \text{ vH}$$

bedingen; sie läßt sich also noch ohne Frischdampfgebe in die NDZ erreichen.

k. Tender.

Umgrenzungslinie wie bei Lokomotiven; s. Abb. 103, S. 888.

Untergestell wird aus Flusseisenplatten oder aus C-Eisenträgern hergestellt.

Die Tender erhalten zwei oder drei Achsen oder 2 zweiachsige Drehgestelle. Für Lokomotiven, die viel rückwärts fahren sollen, auch dreiachsige Tender mit einer festen Achse und einem zweiachsigen Drehgestell (Indien, Japan). Die Achsbelastungen sollen bei den verschiedenen Füllungen des Wasser- und Kohlenraumes möglichst gleichmäÙig sein (T.V. § 110; Gz. f. L. § 71). — Ueber Radsätze s. S. 870 u. f.

Jeder Tender muß ohne Rücksicht auf etwaige andere Bremsvorrichtungen mit kräftig wirkender Handbremse ausgerüstet sein, die auch bei losgekuppeltem Tender benutzbar ist (B.O. § 35; T.V.* § 113; Gz. f. L. § 74). Bei dreiachsigen Tendlern wirkt die Bremse oft nur auf Vorder- und Hinterachse, im übrigen s. Abschn. Bremsen S. 877. — **Bahnräumer** an der Rückseite des Tenders (B.O. § 36; T.V. § 112; Gz. f. L. § 73).

Wasserbehälter entweder hufeisenförmig, prismatisch oder auch zylindrisch (Amerika, Vanderbilt-Tender). Fassungsraum je nach Bedarf 8 bis 34 cbm Wasser, außerdem Raum für Brennstoff (3 bis 6, Amerika bis 14 t Steinkohlen); bei Holzfeuerung Lattenaufsätze, bei Torffeuerung geschlossene Tender, bei Oelfeuerung Oelbehälter (nötigenfalls mit Wärmeschlange). Bleche von 5 bis 8 mm Stärke; Decke der prismatischen und Boden der hufeisenförmigen Wasserbehälter 8 bis 10 mm stark. Eingüsse der Wasserbehälter höchstens 2,75 m über S.-O. (B O. § 36; TV* § 111; Gz. f L. § 72); meist querliegende etwa 1 bis 1½ m lange Öffnung oder sehr zweckmäßig lange Seitenklappen (Gölsdorf), die vom Führerstande aus bewegt werden können. — Die Befestigung des Wasserbehälters am Untergestelle und die der etwa vorhandenen Werkzeugkasten muß derart sein, daß bei Zusammenstoßen die Befestigungen sich nicht lösen können. — Zur Erkennung des Wasserstandes **Probierhähne** oder besser **Schwimmer** mit Skala. — Wasserbehälter der **Tendermaschinen** entweder zwischen den Rädern, als Rahmen ausgebildet (Bauart Kraufs), oder zu beiden Seiten des Kessels oder (besonders in England) sattelförmig auf dem Kessel angeordnet. Fassungsraum 2 bis 6, vereinzelt bis 20 cbm. — Außerdem Raum für 1 bis 4 t Steinkohlen, zu beiden Seiten der Feuerbüchse oder an der Rückwand.

Die Normaltender der preussischen Staatsbahnen.

Die nachstehenden Zahlen beziehen sich auf den dreiachsigen Tender von 12,0 cbm, die eingeklammerten Zahlen auf die vierachsigen Tender von 16 bzw. 20 cbm Wasserraum.

Untergestelle: Ähnlich dem Lokomotivrahmen, Länge 5,6 m (6,7, 6,55 m) zwischen den Auflagenflächen der Kopfstücke bei einem Gesamt-Radstande von 3,3 m (1,55 + 1,6 + 1,55 m, 1,55 + 1,5 + 1,55 m).

Länge von Vorderkante Zugkasten bis Mitte Vorderachse: 1,21 m (1,2, 1,0 m).

Abstand zwischen den Langträgern: 1,806 m (1,796, 1,786 m).

Langträger: Blech von 15 mm: (L 300 · 100 · 10 mm); Kopischwellen: L 300 · 100 · 10 mm;

Querträger: L 300 · 100 · 10 und L 140 · 60 · 7 mm; Diagonalen: L 120 · 55 · 7 mm; Zugwinkel: L 65 · 65 · 9 mm.

Radsätze: Abmessungen s. S. 873. Laufkreisdurchmesser: 1000 mm. — Gewicht eines Radsatzes: 1180 kg.

Tragfedern 950 mm lang (gestreckt) von Mitte zu Mitte Auge; 9 (10,9) Lagen 90 · 13 mm. **Stoßfeder**, gestreckt 894 mm lang bei 750 mm Abstand der Stoßpunkte, 8 Lagen 90 · 13 mm mit schweißeisernem Federbunde 49,5 kg schwer.

Wasserbehälter: Länge des Wasserbehälters 4,438 m (5,535, 5,415 m), Höhe hinten 1,19 m (1,281, 1,42 m), Höhe vorn 0,42 m (0,499, 0,7 m), Breite 3,0 m (2,9, 3,0 m). Nutzinhalt 12 cbm (16, 30 cbm). Dicke der Decke 9 mm, Boden 8 mm, der übrigen Wände 6 mm. **Gewicht des Tenders** leer 15,1 t (21,2, 21,5 t); **Kohlenraum** 5 t (5, 6 t).

Statt des 20 cbm-Tenders auch vielfach 21,5 cbm-Tender, auch vereinzelt 30 cbm-Tender bei Preuß. Staatsbahn verwendet. Bayer. Staatsbahn hat 22 cbm-Tender, Ungar. Staatsbahn 26 cbm-Tender.

k. Prüfung der Lokomotiven.

1. Technisch-polizeiliche Prüfungen s. II. Bd. S. 77 u. f.

2. Prüfungen im Dienst.

Der Umständlichkeit wegen sind im Dienst nur wenige Prüfungen regelmäßig durchführbar. Man prüft:

A. Die Luftverdünnung in der Rauchkammer durch Federvakuummeter (ähnlich einem Manometer) oder Wassersäulenvakuummeter (U-förmiges Rohr, das mit gefärbtem Wasser gefüllt wird). In die Leitung muß meist Drosselscheibe eingeschaltet werden, um sichere Ablesung zu ermöglichen.

B. Die Dampfdrücke im Schieberkasten und Verbinden durch besondere Manometer; ersteres ermöglicht dem Führer dauernde Kontrolle darüber, ob er den Dampf drosselt oder nicht.

C. Die Geschwindigkeit; an Stellen, die wegen örtlicher Verhältnisse Geschwindigkeitsbeschränkungen fordern, durch Streckenkontakte; auf der Lokomotive durch Geschwindigkeitsmesser: auf Personenzuglokomotiven fast überall angewendet, in einzelnen Ländern vorgeschrieben. Apparate teils registrierend, teils nicht registrierend. Zur zweiten Art zählen folgende:

a) Frahmischer Geschwindigkeitsmesser (von Fr. Lux in Ludwigshafen) beruht auf elektrischer Resonanz, vermittelt der abgestimmte Federn in einem Kamm zur Schwingung gebracht werden.

b) Wirbelstrom-Tachometer der Deutschen Tachometerwerke in Berlin, beruht auf Messung des Drehmomentes eines Kurzschlufsankers in einem rotierenden Magnetfeld.

c) Geschwindigkeitsmesser von Klose (gebaut von Maschinenfabrik Oerlikon) beruht auf Fliehkraftmessung eines astatisch aufgehängten Körpersystems. U. a. m.

Registrierende Apparate vermerken im allgemeinen nur die mittlere Geschwindigkeit, daher bei plötzlichen Geschwindigkeitsänderungen, z. B. scharfen Bremsungen, ungenaue Ergebnisse. Gebräuchliche Apparate von:

α) Flaman; gibt die Weggeschwindigkeitskurve. Messung alle 0,48 sk, Streifen für 6000 bis 7000 km ausreichend.

β) Hasler (Bern); gibt die Zeitgeschwindigkeitskurve; alle 3 sk wird die mittlere Geschwindigkeit der beiden letzten Sekunden markiert.

γ) Hauskälter (gebaut von Seidel & Naumann A.-G., Dresden) ähnelt dem vorigen.

D. Die Brennstoffmengen durch Aufschreibungen (meist auch Kohlenprämien). In Amerika sind vielfach „Reiselokomotivführer (traveling engineers)“ vorhanden, die Personal und Zustand der Lokomotiven durch häufiges Mitfahren prüfen.

3. Wissenschaftliche Prüfung bietet besondere Schwierigkeiten, weil Maschine und Kessel sich gegenseitig beeinflussen; geringe Aenderungen, z. B. am Blasrohr, können wesentlich Aenderung der Versuchsergebnisse herbeiführen; wissenschaftliche Prüfung findet statt, entweder auf fester Prüfanlage**) (Lokomotive steht auf Rollen, geleistete Arbeit wird durch hydraulische Bremsung und dgl. vernichtet) oder durch Versuchsfahrten auf der Strecke. Beide Arten ergänzen sich.

Erstere vermeidet die Beeinflussung der Ergebnisse durch die Veränderlichkeit der Witterung während der Versuche, durch besondere Betriebsbedingungen und dgl., berücksichtigt aber nicht Abkühlungsverhältnisse der bewegten Luft auf Kessel und Zylinder, rüttelnde Bewegung auf die Lage des Feuers usw., eignet sich daher besonders für Vergleichsversuche und zum Studium des Einflusses von Aenderungen in Bauart und Betriebsweise.

Versuchsfahrten eignen sich besonders zur Feststellung von Schleppleistungen; sie werden beeinflusst durch die Witterung, den Zustand des rollenden Materials, Betriebsbedingungen (Haltsignale usw.) und im höchsten Maße Geschicklichkeit des Personals.

Vorbedingungen für alle Versuche:

Einwandfreier Betriebszustand der Lokomotiven.

Gleichmäßige Beschaffenheit der Kohlen und des Speisewassers.

Bedienungsmannschaft, welche mit zweckmäßigster Bedienung des Feuers und sparsamster Fahrt (Regleröffnung — Zylinderfüllung usw.) der Lokomotive vertraut ist.

Für eingehende Versuche besonderer Versuchswagen***) nötig, der die notwendigen meist selbst aufzeichnenden, Apparate enthält.

Bei Versuchen werden gemessen:

1. Kohlen- und Wasserverbrauch, abzüglich der zum Anheizen nötigen Mengen, des Schlabb- und Spritzwassers usw. Asche im Aschkasten, Löße in der Rauchkammer; bei festen Prüfanlagen auch die ausgeworfenen Funken. Kohlenmessung durch Wägung, Wassermessung bei Prüfanlagen durch Wassermesser oder Wägung bei Fahrten durch Eichung des Tenders. Eventuell werden die Kohlen auf Heizwert, Aschengehalt und chemische Zusammensetzung untersucht.

2. Temperaturen auf dem Rost, in der Rauchkammer bzw. im Ueberhitzer.

3. Zusammensetzung der Abgase.

4. Luftleere im Aschkasten, in der Feuerbüchse, in der Rauchkammer.

5. Dampfdrücke im Kessel, Schieberkasten, Verbinder durch Manometer.

6. Feuchtigkeitsgehalt des Dampfes, noch keine vollkommen verlässlichen Instrumente.

7. Dampfdrücke im Zylinder durch Indikatoren; entweder über den Zylindern besonderes Schutzhaus für den Beobachter, das aber vermehrten Luftwiderstand bedingt, oder Indikator System Maihak mit elektrischer Anrückvorrichtung vom Führerstand aus.

*) Vgl. Handbuch des Eisenbahnmaschinenwesens von Stockert, III. Teil, S. 286 u. f.

**) Z. d. V. d. I. 1904 S. 1321.

***) Beschreibung verschiedener Versuchswagen s. Stockert, Handbuch des Eisenbahnmaschinenwesens, III. Teil, S. 326 u. f.

8. Zugkräfte durch Dynamometer mit Schreibvorrichtung (von Schäffer u. Budenberg), bei Prüfanlagen an Bufferbohle der Lokomotive, sonst als Kupplung zwischen Tender und Versuchswagen eingeschaltet.

9. Geschwindigkeit (Messer siehe oben).

Neues Prüfverfahren der Preussischen Staatsbahn: mit den zu vergleichenden Lokomotiven werden Züge mit verschiedenen Lasten nach gleichem Fahrplan, also mit gleichen Geschwindigkeiten, gefahren, die am Tenderzughaken geleisteten PS_e -st selbsttätig durch Planimetrieren des Zugkraftdiagramms, Kohlen- und Wasserverbrauch unmittelbar gemessen und so Verbrauch für die PS_e -st festgestellt. Graphische Auftragung gibt günstigste Belastung für die betreffende Geschwindigkeit. Erhaltene Werte sind aber nicht für verschiedene Geschwindigkeiten vergleichbar, ebenso wenig mit elektrischem Betrieb wegen Nichtberücksichtigung des Luftwiderstandes.

D. Eisenbahn-Triebwagen.*)

a. Allgemeines.

Eisenbahntriebwagen oder Eisenbahnmotorwagen sind Fahrzeuge zur Beförderung von Personen oder Gütern, die von einer im Wagen befindlichen Kraftquelle zur selbständigen Fortbewegung befähigt werden.

Verwendungsgebiet. Triebwagen dienen meistens dem Personenverkehr. Sie kommen wegen begrenzter Aufnahmefähigkeit (höchstens 130 Personen) nur bei verhältnismäßig schwachem Verkehr in Frage. Leistungsfähigkeit wird vielfach durch Anhängewagen erhöht.

Triebwagen daher verwendet:

- a) auf Strecken mit schwachem Personenverkehr (Nebenbahnen).
- b) zur Ausfüllung von Lücken im Fahrplan verkehrsreicherer Strecken,
- c) zur häufigeren Verbindung der Nachbarorte größerer Städte mit diesen und von Orten mittlerer Größe mit lebhaften Verkehrsbeziehungen untereinander,
- d) zur Vermittlung von Schnellzuganschlüssen von und nach Zwischenstationen.

Vorzüge der Triebwagen gegenüber Dampfzügen sind: geringeres Gewicht, geringer Personalbedarf (u. Umst. nur 1 Wagenführer), Fortfall des Umsetzens der Lokomotive, geringer Platzbedarf, bei elektrischem Antrieb oder solchem mit Verbrennungsmaschine auch noch die Rauch- und Staubfreiheit.

Bauarten. Nach dem Antrieb sind zu unterscheiden: Dampftriebwagen, Triebwagen mit unmittelbarem Antrieb durch Verbrennungsmaschinen, mit Krafterzeugung durch Verbrennungsmaschine und elektrischer Arbeitsübertragung und mit elektrischem Antrieb und Energieaufspeicherung in einer Sammlerbatterie.

b. Dampftriebwagen

sind bis jetzt von allen Triebwagenarten am weitesten verbreitet. Bedienung meist einfacher als bei Dampflokomotiven, oft nur ein Mann nötig bei selbsttätiger Kohlenfeuerung oder bei flüssigem Brennstoff. —

*) Näheres siehe „Handbuch über Triebwagen für Eisenbahnen“ von C. Guillery; „Handbuch des Eisenbahnmaschinenwesens“, herausg. von Ritter von Stockert, I. Band: „Fahrbetriebsmittel“.

Betriebskosten geringer als bei den übrigen Triebwagenbauarten. Nachteile sind Rauch, Staub und Wärmeausstrahlung. Aktionsradius bei flüssigem Brennstoff kleiner als der des Wagens mit Verbrennungsmaschine bei gleichem Brennstoffvorrat.

Kleinere Dampftriebwagen haben 2 oder 3 (zweiachsiges Drehgestell und Einzelachse) Achsen, die größeren 4 (2 zweiachsige Drehgestelle) oder vereinzelt auch 5 Achsen. Die Maschinendrehgestelle sind vielfach im ganzen leicht auszuwechseln. (Abkürzung der Ausbesserungszeit.)

Die Kessel sind sogen. Kleinkessel mit einem Ueberdruck bis zu 50 at oder solche nach der Bauart der Lokomotivkessel mit bis zu 16 at Ueberdruck. Dampfüberhitzung häufig.

1. **Serpollatkessel.** Viele wagrecht liegende, an den Stirnseiten verbundene Rohre mit sehr geringem Wasserinhalt in senkrechtem Feuerschacht. Geringe Explosionsgefahr.

2. **Kessel von de Dion Bouton.** Zwei zylindrische, ineinanderstehende Einzelkessel von ringförmigem Querschnitt, die durch zahlreiche, schräg ansteigende kurze Rohrstücke verbunden sind. Innerer Kessel ist gleichzeitig Füllschacht für den Brennstoff (Koks).

3. **Kessel von Stoltz** besteht aus vielen senkrecht nebeneinander in zylindrischem Mantel angeordneten, senkrecht und wagrecht durchbohrten und entsprechend verbundenen Stahlplatten (Rohrplatten). Zwischen den Platten liegen die Ueberhitzerrohre: Reine Kohlen- oder Oelfeuerung. Bis 50 at Betriebsdruck.

Stehende Röhrenkessel.

1. **Komarekkessel.** Zylindrischer Kesselmantel, Wellrohrfeuerbüchse, in deren oberem Teil die knieförmig gebogenen Wasserröhren liegen. Ein Röhrenüberhitzer liegt im Abzugsrohr der Rauchgase.

2. **Kessel von Purrey.** Der Kessel ist ein Wasserrohrkessel für stark überhitzten Dampf von 20 at Ueberdruck. Innerhalb eines äußeren Mantels, der einen geneigten Schüttelrost mit selbsttätiger Beschickung enthält, liegen eine Wasser- und eine Dampfkammer, die durch zahlreiche, schlangenförmig gewundene Rohre verbunden sind.

3. **Kittelkessel.** Heizröhrenkessel. Kesselmantel und Wellrohrfeuerbüchse sind nach unten etwas erweitert (Vergrößerung der Rostfläche). Der Durchmesser des Kessels ist im oberen Viertel erheblich vergrößert, wodurch große Verdampfungsoberfläche erzielt wird. Die Heizrohre wirken in ihrem oberen Teil als Dampftrockner. Ein Röhrenüberhitzer liegt in der Rauchkammer.

4. **Kessel der Great Western-Bahn.** Dem Kittelkessel sehr ähnlich.

Die Dampfmaschinen sind ausschließlich liegend angeordnet. Der Antrieb der Treibachse erfolgt entweder unmittelbar, wie bei den Lokomotiven, oder durch Vermittlung eines Zahnradvorgeleges, das manchmal für veränderliches Übersetzungsverhältnis eingerichtet ist, oder durch Gallsche Kette. Die Maschinen sind zweizylindrige Zwillings- oder Verbundmaschinen oder zwei nebeneinanderliegende zweizylindrige

Verbundmaschinen (Doppeltandemanordnung). Die Zylinder sind am Untergestell fest gelagert (Lokomotivanordnung), oder die mit selbständigem Rahmen versehene Maschine stützt sich mit 2 Tatztenlagern auf die Treibachse und ist am hinteren Ende frei schwingend, federnd aufgehängt (Ganz, Stoltz). Bei einzelnen Triebwagen sind beide Achsen eines zweiachsigen Drehgestells Treibachsen. (Vier Dampfzylinder, Kurbeln auf jeder Seite um 180° gegeneinander versetzt, dadurch gegenläufige Kolben, vorzüglicher Massenausgleich, ruhiger Lauf des Wagens.) Vielfach sind zwei Achsen gekuppelt.

Beispiele. Zweiachsiger Dampftriebwagen mit Kessel für Regelspur. (Württembergische Staatsbahn.) Radstand 5,0 m. 40 Sitz-, 4 Stehplätze, 1 Post- und Gepäckabteil, das auch Reisende aufnehmen kann. Führerstand auf einer Stirnseite des Wagens, seitlich verbreitert zur Ermöglichung des Ausblicks auf die Strecke bei Rückwärtsfahrt. Kesselheizfläche 25,5 qm, Ueberhitzerheizfläche 4,6 qm, Rostfläche 0,71 qm, Dampfdruck = 16 kg/qcm. Dampfmaschine ist Lokomotivzwillingmaschine. Zylinderdurchmesser 220 mm, Hub 300 mm. Dauerleistung 80 PS. Wassergehalt des Kessels etwa 0,8 cbm, Wasservorrat 1,5 cbm, Kohlenvorrat 450 kg. Dienstgewicht (unbesetzt) etwa 21 t. Größte Fahrgeschwindigkeit 60 km/st.

Vierachsige Dampftriebwagen haben 40 bis 75 Sitzplätze, ein Gewicht von durchschnittlich 730 kg für einen Sitzplatz, Kesselheizflächen zwischen 30 und 60 qm und Rostflächen zwischen 0,63 und 1,22 qm.

Fahrgeschwindigkeiten in der Regel etwa 50 km/st (max bis 80 km/st).

c. Triebwagen mit Verbrennungsmaschinen.

Sofortige Betriebsbereitschaft, Rauch- und Staubfreiheit, großer Aktionsradius bei verhältnismäßig geringem Vorrat an Betriebsmaterial, billige Heizung des Wagens durch das Kühlwasser, keine langdauernden Kesseluntersuchungen wie bei Dampftriebwagen und kein Zeitverlust für Energieergänzung, wie das Laden der Batterien bei Sammlertriebwagen.

Brennstoffe: Benzin, Benzol (Roh- und Handelsbenzol), Ergin, Spiritus, Gasolin, Petroleum.

a) **Wagen mit mechanischer Arbeitsübertragung (Zahnradvorgelege).** Die Geschwindigkeitsregelung erfolgt durch Wechselgetriebe. Bei normaler, wirtschaftlicher Umdrehungszahl der Verbrennungsmaschine sind nur wenige, den Stufen des Wechselgetriebes entsprechende Geschwindigkeitsabstufungen möglich. Starke Beanspruchung der Zahnräder beim Ein- und Ausrücken, geräuschvoller Gang des Getriebes.

b) **Wagen mit elektrischer Arbeitsübertragung** meistens ohne parallelgeschaltete Arbeitsbatterie.

Die Verbrennungsmaschine ist mit Dynamo gekuppelt, die Strom in die auf den Achsen sitzenden Antriebsmotoren liefert. Die Geschwindigkeitsregelung erfolgt durch Vorschaltwiderstände im Motorstromkreis, durch Reihen- und Parallelschaltung der Motoren oder durch Spannungsänderung der Dynamomaschine durch Aenderung ihrer Erregung (Leonardschaltung). Die Verbrennungsmaschine arbeitet, solange der Wagen unter Strom fährt, stets mit normaler Umdrehungszahl.

Beispiel. Vierachsiger benzol-elektrischer Triebwagen der Preussischen Staatsbahnen. Der Wagenkasten (meist 3. und 4. Klasse) mit beiderseitigen Führerständen ruht auf 2 zweiachsigen Drehgestellen. Das Triebdrehgestell hat 2 Hauptstrommotoren von 85 PS bei einstündiger Leistung. Das Maschinen-drehgestell trägt den aus sechs- oder vierzylindriger Verbrennungsmaschine (100 PS_e) mit unmittelbar gekuppelter Dynamo-

maschine gebildeten Stromerzeuger in Längsanordnung. Dieser Maschinensatz liegt in besonderem Rahmen, der gefedert unmittelbar auf den beiden Achsen ruht. (Geringe Erschütterungsübertragung auf den Wagenkasten, die durch Herabsetzung der Leerlaufumdrehungszahl der Verbrennungsmaschine noch weiter vermindert wird.)

Jeder Zylinder hat 2 getrennte Zündvorrichtungen. Ein Wabenkühler mit künstlichem Zug liegt im Wagendach. Der Brennstoff ist in gasdichtem Behälter unter dem Druck eines nicht brennbaren Gases gelagert (Feuersicherheit). Wagen hat Hilfsbatterie für Zündung, elektrische Beleuchtung, Druckknopfsicherheitsvorrichtung, elektrische Motorsirene und Motorläutewerk, Heizung durch Kühlwasser und Luftdruckbremse.

Wagen nimmt 95 Reisende auf. (76 Sitzplätze.)

Gewicht des betriebsfähigen unbesetzten Wagens etwa 47 t.

Gewicht auf 1 Reisenden: 495 kg. Größte Geschwindigkeit: 60 km/st.

Brennstoffverbrauch für 1 tkm bei ebener Strecke im gewöhnlichen Betrieb etwa 12 g Benzol.

d. Sammlertriebwagen (Akkumulatorbetriebswagen).

Reinlicher Betrieb, geringe Feuersgefahr, da keine explosiblen Brennstoffe vorhanden, große Betriebssicherheit. Nachteile: der verhältnismäßig engbegrenzte Aktionsradius, die Notwendigkeit besonderer Ladestationen und die Abhängigkeit von diesen, die ungünstige Fahrplanbildung, da Ladezeit vorgesehen werden muß. Die Wirtschaftlichkeit des Betriebes wird stark beeinflusst von dem Strompreis. Häufige Ueberanstrengung der Batterie steigert ihren Verschleiß und damit die Unterhaltungskosten erheblich.

Anordnung. Antrieb meist durch Hauptstrommotoren. Vereinzelt ein oder zwei Nebenschlußmotoren angewendet, die Stromrückgewinnung beim Bremsen und bei Fahrt im Gefälle ermöglichen. Unterbringung der Batterie unter den Sitzbänken (störender Säuregeruch und Gefahr der Beschmutzung der Kleider) oder in besonderen Räumen. Die Ladung und Behandlung der Batterie s. II. Bd. S. 879 u. f.

Der Gesamtwirkungsgrad der Batterie einschließlich Neuformierung einzelner Zellen und der erforderlichen Ueberladungen ist etwa 0,70. Größere Unterhaltungsarbeiten der Batterie sind das Beseitigen des Schlammes und die Auswechslung der Platten. (Längere Ausbesserungen, die zweckmäßig mit größeren Arbeiten am Wagen vereinigt werden.) Die sonstige elektrische Ausrüstung entspricht der bei Gleichstrombahnen.

Energieverbrauch an den Motorklemmen auf gerader, wagrechter Bahn etwa 15 Wst für 1 t Zuggewicht und 1 km.

Beispiele.

Vierachsiger Akkumulatortriebwagen der pfälzischen Eisenbahnen. Wagen hat 2 Drehgestelle, 114 Sitzplätze III. Klasse und Stehplätze in den Gängen. Je ein Führerstand mit Schalt-, Mef- und Bremsgeräten auf jeder Kopfseite des Wagens.

Leergewicht: 45 t, also 395 kg für 1 Sitzplatz.

Batterie: 156 Elemente, Kapazität 250 Ampst. Gewicht der betriebsfertigen Batterie einsch. der Batteriekasten 15 t. Sie liegt unter den Sitzbänken. — Antrieb durch 2 in einem Drehgestell gelagerte Hauptstrommotoren.

Höchstgeschwindigkeit: 55 km/st, normal 45 km/st.

Sechachsiger Doppelwagen der preussischen Staatsbahnen. 2 dreiachsige Wagenhälften sind durch Kurzkupplung verbunden. Alle Achsen sind Lenkachsen. Normale Besetzung 108 Personen, Aufnahmefähigkeit 130 Personen. (46 Sitzplätze III. Klasse und 36 Sitzplätze IV. Klasse.) — An jedem Wagenende ein Führerstand. Je eine Hälfte der Batterie liegt in besonderem, niedrig gehaltenem Batterieraum vor jedem Führerstand. Batterieräume sind durch Schiebedeckel verschlossen.

Batterie: 168 Elemente mit 368 Ampst. Kapazität bei zweistündiger Entladung. Gewicht der betriebsfertigen Batterie 17 t. Ladung in Parallel- und Hintereinanderschaltung beider Batteriehälften möglich. Jede Wagenhälfte hat 1 Hauptstrommotor von 85 PS bei einständiger Leistung. Höchste Geschwindigkeit 60 km/st. — Jahresleistung eines Wagens bei günstigen Streckenverhältnissen bis 55 000 km, im Mittel

40 000 km. Gewicht eines Doppelwagens unbesetzt etwa 58 t, mithin für 1 Reisenden 537 kg.

Die Wagen haben: Luftdruckbremse, elektrische Beleuchtung, Preßkohlenheizung und eine mit der Fahrkurbel in Verbindung stehende Druckknopfsicherheitsvorrichtung, elektrische Motorsirene und Motorläutewerk. Die Antriebsmotoren arbeiten in Serien-Parallelschaltung. Die Schaltung des Hauptstroms geschieht bei einem Teil der Wagen unmittelbar durch die Fahrwalze, bei einem anderen Teil mittelbar durch Fernschalter (Schützensteuerung).

E. Wagen.

a. Breiten- und Höhenmaße.

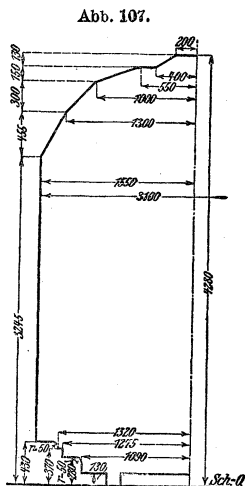
1. Umgrenzungslinie der festen Teile der Wagen.

1. **Gemäß B.O. § 28**, s. Abb. 103b S. 888, ausgezogene Linie links. Unter 130 mm über S.-O. dürfen auch bei größter Abnutzung der Radreifen und beladenen Wagen (u. zw. in mindestens 50 mm seitlicher Entfernung von der Umgrenzungslinie des lichten Raumes) nur herabreichen bis höchstens 50 mm über S.-O.: die durch die Radreifen gedeckten Teile, wie Bahnräumer, Bremsklötze, Sandstreuer (vgl. auch TV.* § 116³ I. Nachtrag); bis höchstens 75 mm über S.-O.: Kupplungen und Notketten. Diese müssen jedoch (bei bestehendem Material vom 1. 1. 1912 an) auf 130 mm Abstand eingeschraubt oder aufgehängt werden können. — Die losen Teile (Signalscheiben, Laternen, Leinewaschel) müssen innerhalb der in Abb. 103b S. 888, hierfür gekennzeichneten Umgrenzungslinie bleiben. Die in der durchgehenden Flucht der Langwände von Personen-, Post- und Gepäckwagen liegenden Türen dürfen bei Mittelstellung der Fahrzeuge im geraden Gleise die Umgrenzung des lichten Raumes um 50 mm überschreiten. Andere Türen solcher Wagen müssen innerhalb der Umgrenzungslinie bleiben.

Einschränkungen der Breitenmaße sind für das Durchfahren einer Krümmung von 180 m Halbmesser zu bestimmen (B.O. § 28).

2. Nach TV.* § 116 gilt bei Ruhestellung des Wagens im geraden Gleise die Umgrenzungslinie nach Abb. 103 b S. 888 rechts. Teile, die unter 130 mm über S.-O. reichen dürfen, wie in BO. § 28. Die Fußsbretter der Bremsersitze dürfen nicht höher als 2,85 m über S.-O. liegen.

Nach TV.* § 117 müssen mit Rücksicht auf das Durchfahren von Krümmungen die **Breitenmaße** des § 116 **eingeschränkt** werden, daß in Krümmungen mit einem Halbmesser von 180 m die auf Blatt XVI der TV. gezeichnete Spielraumlinie nicht überschritten wird. — In der Höhe von 430 bis 1270 mm über S.-O. müssen diese Breitereinschränkungen mindestens die nachstehend unter *a*, *b* und *c* angegebenen Größen haben:



a. Für Wagen mit steifen Achsen oder mit Vereins-Lenkachsen.

In der Entfernung von der Endachse m	Einschränkung der größten Gesamtbreite in mm									
	zwischen den Endachsen bei dem Radstande in m			über die Endachsen hinaus bei dem Radstande in m						
	6	8	10	2,5	3	4	5	6	8	10
0,5	0	6	14	16	10	1	0	0	0	0
1,0	0	15	30	35	22	5	0	0	2	0
1,5	0	21	44	55	45	35	32	33	41	51
2,0	0	25	55	102	88	75	71	72	82	96
2,5	0	25	63	.	.	117	112	114	126	144
3,0	0	23	68	.	.	.	156	158	173	195
3,5	.	18	70	.	.	.	.	205	222	248
4,0	.	10	70	.	.	.	.	.	275	304
4,5	.	.	66	.	.	.	.	.	330	363
5,0	.	.	60	.	.	.	.	.	.	425

b. Für Wagen mit Drehgestellen bis zu 2,5 m Radstand

(auch gültig für Ladungen auf Wagenpaaren bei Wagenradstand bis zu 2,5 m).

In der Entfernung vom Drehzapfen m	Einschränkung der größten Gesamtbreite in mm												Unterschied der Einschränkungen für 1 m Entfernung der Drehzapfen m
	zwischen den Drehzapfen, bei deren Entfernung in m						über den Drehzapfen hinaus, bei der Entfernung der Drehzapfen in m						
	7	8	10	15	20	36	7	8	10	15	20	36	
1,0	o	o	o	6	31	111	o	o	c	o	o	41	5,00
2,0	o	o	18	71	125	297	o	o	c	37	91	263	10,74
3,0	o	13	46	128	210	472	18	34	67	149	231	493	16,40
4,0	.	18	62	173	283	636	95	117	161	271	382	735	22,06
5,0	.	.	69	208	346	789	186	213	268	407	545	987	27,68
6,0	.	.	.	233	400	936	.	.	.	.	.	.	33,50

(Die Angaben für 7,0 bis 18,0 m Entfernung vom Drehzapfen sind hier fortgelassen.)

Für einen beliebigen Drehzapfen-Abstand läßt sich die Einschränkung aus der bis 36 m angegebenen finden unter Benutzung der in der letzten Spalte enthaltenen Unterschiede.

c. Für Wagen mit Drehgestellen von mehr als 2,5 m Radstand

sind die Einschränkungen unter b. zwischen den Drehzapfen zu vergrößern, über die Drehzapfen hinaus um gleichviel zu verkleinern, u. zw. nach folgender Angabe:

bei 3,5 m Radstand der Drehgestelle 8 mm Aenderung,

" 4,5 " " " " 19 " " "

" 5,5 " " " " 34 " " "

" 6,5 " " " " 50 " " "

Die vorstehenden Einschränkungen der Gesamtbreiten können in der Höhe von 1170 bis 3476,5 mm über S.-O. um 40 mm, in der Höhe von 3476,5 bis 4650 mm über S.-O. um 10 mm vermindert werden.

Einschränkungen der Breiten, die bei Wagen mit Drehgestellen durch eine Seitenbeweglichkeit des Drehzapfens (Wiege) bedingt sein können, sind besonders zu berücksichtigen (TV* § 117).

3. Für Güterwagen des deutschen Staatsbahnwagenverbandes gilt die Umgrenzungslinie nach Abb. 107.**4. Für Lokalbahnen** bestimmt Grz. § 77 folgendes:

Alle Abmessungen vollspuriger Wagen sollen höchstens die laut TV. § 116 u. 117 gestattete Umgrenzungslinie erreichen. — Alle Abmessungen schmalspuriger Wagen sollen innerhalb der in Grz. § 49 für schmalspurige Lokomotiven vorgeschriebenen Umgrenzungslinie bleiben (vgl. S. 888). — Vorkehrungen gegen eine

Gefährdung der Reisenden durch seitliches Hinausbeugen, wie T. V. § 116 (vgl. S. 934). — Die Türflügel der nach außen aufschlagenden Türen der Seitenwände sollen nicht über die Umgrenzungslinie des lichten Raumes hinausragen. — Fußbretter der erhöhten Bremersitze mindestens 1,95 m unter der oberen Grenzlinie des lichten Raumes. Auf tunnelreichen Zahnradbahnen sind erhöhte Bremersitze mit Rücksicht auf die Rauchbelästigung zu vermeiden.

b. Bezeichnung der Wagen.

Nach B. O. § 42 sind an beiden Langseiten der Wagen folgende Anschriften anzubringen:

1. Kennzeichen der Eigentumsverwaltung;
2. Ordnungsnummer;
3. Eigengewicht einschl. Räder, Achsen und dauernd mitgeführter Ausrüstungsgegenstände;
4. bei Güter- und Gepäckwagen Ladegewicht und Tragfähigkeit;
5. das auf 1 m Wagenlänge einschl. Puffer entfallende Gesamtgewicht (Eigen- und Ladegewicht), wenn es 3,1 t/m übersteigt;
6. Radstand;
7. Vorhandensein von Lenkachsen und verschiebbaren Mittelachsen;
8. Art und Wirkungsweise der durchgehenden Bremse;
9. Inhalt der Gasbehälter;
10. Zeitpunkt der letzten Untersuchung;
11. bei Wagen mit Zeitschmierung Schmierfrist und Zeitpunkt der letzten Schmierung;
12. bei Personen- und bedeckten Güterwagen die Anzahl der für Truppenbeförderung benutzbaren Sitzplätze, bei letzteren Wagen auch die Anzahl der unterzubringenden Pferde;
13. bei den zur Viehbeförderung geeigneten Wagen der Inhalt der Bodenfläche;
14. bei den zur Militärbeförderung nicht geeigneten Wagen der Buchstabe (u);
15. bei Personenwagen Merkmale zum Auffinden der Wagenklasse und des Abteils.

TV.* § 140 verlangt vorstehende Ziffern 1 bis 11 und 13; außerdem:

16. bei Privatwagen das Zeichen **P**;
17. bei Wagen für den internationalen Verkehr mit Vereins-Lenkachsen und mehr als 4,5 m Radstand das Zeichen $\leftarrow(-)\rightarrow$ (vgl. T. V.* § 123).
Ziffer 4 und 9 werden nur empfohlen.

TE. § 25 verlangt vorstehende Ziffern 1 bis 4, 6, 10, 11, 16 und 17, außerdem:

18. bei Drehgestellwagen Abstand der Drehzapfen und Radstand der Drehgestelle. Ziffer 17 lautet nach TE. § 2: Wagen, deren Achsen eine solche Verschiebbarkeit besitzen, daß sie Krümmungen von 150 m Halbmesser durchfahren können, erhalten das Zeichen $\leftarrow(-)\rightarrow$, wenn Radstand $> 4,5$ m.

Grz. § 84 verlangt dieselben Anschriften wie TV. § 140.

c. Untergestell der Wagen.

1. Radstand. Der kleinste zulässige feste Radstand auf Hauptbahnen ist 2,5 m, der größte bei neuen Fahrzeugen 4,5 m (B. O. § 30; TV.* § 118; TE. § 2). Sind mehr als zwei Achsen in gemeinsamem Rahmen gelagert, so müssen bei Radstand > 4 m die Mittelachsen derart verschiebbar sein, daß Krümmungen mit 180 m Halbmesser (nach TE. § 2: 150 m Halbmesser) befahren werden können (B. O. § 30). Der größte zulässige feste Radstand der Wagen richtet sich nach den kleinsten Bahnkrümmungen auf freier Strecke. TV. § 118 empfehlen:

Krümmungs-Halbmesser in m . . .		180	210	250	300	400	500
Größter fester Radstand in m	mit Rücksicht auf Schonung des Materials	3,9	4,3	4,6	5,1	5,9	6,6
	mit Rücksicht auf Betriebssicherheit	4,5	4,9	5,4	6,0	7,2	7,2

Der Radstand der Güterwagen soll nicht über 4,5 m betragen, sofern keine Lenkachsen vorhanden sind (TV. § 118). Die Anwendung von Lenkachsen wird (selbst für kleine Radstände) dringend empfohlen; doch soll bei ihnen mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit der Radstand von 9 m bei 180 m und von 10 m bei 210 m Halbmesser der Krümmungen nicht überschritten werden. Für lange und schwere Wagen sind Drehgestelle besonders geeignet (TV. § 118).

Für Lokalbahnen wird in Grz. § 78 empfohlen:

Krümmungs-Halbmesser	25	40	50	75	100	125	150	180	210	250	300 m
Größter fester Radstand	1,4	1,8	2,0	2,5	2,9	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	5,1 m

Die Betriebssicherheit wird nicht gefährdet, wenn mäßig größere Radstände als die vorstehenden angewendet werden; bei Lenkachswagen kann der Radstand auf das Doppelte vergrößert werden.

Die Anwendung von Lenkachswagen oder Drehgestellen ist zu empfehlen. Vollspurige Lenkachswagen sollen nach den Bestimmungen der TV.* § 119 bis 122 (s. S. 931) gebaut werden (Grz. § 78).

2. Verhältnis zwischen Radstand und Länge des Untergestelles.

TV. § 125 empfiehlt, folgende Werte nicht zu überschreiten: (Für Wagen mit Faltenbälgen und für Wagen mit Uebergangsbrücken für den durchgehenden Verkehr sind diese Vorschriften verbindlich.)

a. Bei Wagen mit steifen oder Lenkachsen:

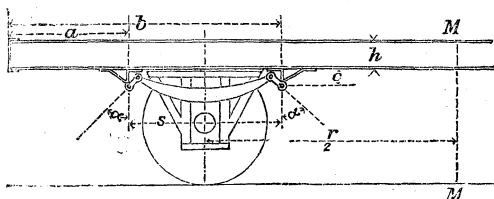
bei Radstand von m	3,0	4,0	4,5	5	6	7	8	9	10
größte Wagenlänge einschl. Puffer in m	7,2	9,2	10,2	11,1	12,0	12,8	13,6	14,4	15,2
größter Ueberhang einschl. Puffer in m	2,35	2,85	3,05	3,05	3,00	2,90	2,80	2,70	2,60

Bei Pufferscheiben von mind. 400 mm Durchm. und mind. 6 m Radstand kann Wagenlänge bis 0,8 m, Ueberhang bis 0,4 m größer sein.

b. Bei Drehgestellwagen mit Seitenverschiebung der Drehzapfen bis 25 mm:

bei Drehzapfenentfernung von m	8	9	10	11	12	13	14	15
größte Wagenlänge in m	16,7	17,2	17,8	18,4	19,0	19,6	20,3	21,0
größter Ueberhang in m	4,35	4,10	3,90	3,70	3,50	3,30	3,15	3,0

Abb. 108.



Bei Pufferscheiben von mind. 450 mm Durchm. und mind. 9 m Drehzapfenentfernung kann bei Wagen ohne Uebergangsbrücken Wagenlänge bis 0,8 m, Ueberhang bis 0,4 m größer sein.

Ist q die Belastung eines Langträgers für die Einheit seiner Länge l (die übrigen Bezeichnungen s. Abb. 108), so ergibt sich unter der Annahme, daß bei gleichmäßig verteilter Last die größten Biegemomente zwischen den beiden Federgehängen einer Achse und zwischen den inneren Federgehängen beider Achsen einander gleich sein sollen, der Radstand r aus

$$\frac{r}{l} = 2 - \frac{s}{l} - \sqrt{2 \left(1 - \frac{s}{l}\right) - \frac{c + \frac{h}{2}}{l} \cdot \operatorname{tg} \alpha}.$$

Bei Güterwagen des deutschen Staatsbahnwagenverbandes ist

$c = 140$ mm und $s = 1120$ mm bei 1000 mm langen Federn,
 $s = 1220$ mm bei 1100 mm langen Federn;

bei Personenwagen der preufs. Norm. (Abb. 116) ist

bei zweiachsigen Wagen: $c = 121$ mm und $s = 2204$ mm
 „ dreiachsigen „ $\left\{ \begin{array}{ll} c = 142 & \text{„ „ } s = 2204 \text{ „ (Endachsen)} \\ c = 195 & \text{„ „ } s = 2224 \text{ „ (Mittelachse)} \end{array} \right.$

3. Untergestelle.

Eisenprofile der Wagen-Untergestelle der preufs. Norm:

Langträger: **E**-Eisen 235 · 90 · 10 · 12 mm.

Kopfschwellen: **E**-Eisen, 2,0 bis 2,6 m lang, u. zw.

für Personen- und Güterwagen **E** 235 · 90 · 10 · 12 mm,

für bedeckte Güterwagen **E** 260 · 90 · 10 · 10 mm,

für offene und bedeckte Güterwagen **E** 300 · 75 · 10 · 10 mm.

Querträger: **E**-Eisen 120 · 55 · 7 · 9 mm.

Diagonalen: **E**-Eisen 145 · 60 · 8 · 8 mm.

Untergestelle der 2achs. preufs. 20 t-Kohlenwagen und ausländischer Wagen auch aus gepreßten Stahlblechen.

Bei langen Untergestellen Ausbildung des Wagenkastens als Träger, Flacheisenzugstangen (bei D-Wagen) oder Sprengwerk unter den Längsträgern (Abteilwagen, Güterwagen).

4. Achshalter (Achsgabeln), früher aus Blech oder aus Flacheisen von 70 bis 80 mm Breite und 15 bis 20 mm Stärke mit Streben von gleicher Stärke, neuerdings aus 8 mm starken Preßblechen, unten durch angeschraubtes Querstück (55 · 15 mm) verbunden. An den Gleitstellen der Achsbüchse stählerne Führungsleisten angeboten.

Radsätze der Wagen s. S. 870 u. f.

5. Achsbüchsen (T V. § 129, Grz. § 79) zweiteilig oder neuerdings meistens einteilig; Schmiermittel von unten oder von oben und unten zugeführt.

Abb 113 bis 115 zeigen die geschlossene **Achsbüchse der preufs. Staatsbahn** für Personenwagen, Abb. 109 bis 112 die geschlossene **Achsbüchse des deutschen Staatsbahnwagenverbandes** für Güterwagen; bei beiden Lagerfutter aus Rotgufs mit Weißgufsspiegel.

Material der Lagerkasten meist Gufseisen, bisweilen Stahlgufs; — Lagerfutter: Rotgufs (86 vH Cu, 14 vH Sn) oder Weißmetall (85 vH Sn, 10 vH Sb, 5 vH Cu oder 83 vH Sn, 11 vH Sb, 6 vH Cu). Ueber Zapfenreibung s. I. Bd. S. 251. Rollen- und Kugellager ergeben im allgemeinen keine wesentlichen Vorteile, nur für Bahnmeisterwagen zu empfehlen.

Schmiermittel: Rüböl und Mineralöl; Zuführung in regelmässigen Zwischenräumen in größeren Mengen. Die Fugen sind möglichst dicht zu verschließen, um Verluste von Schmierstoff und Eindringen von Staub zu verhüten (Lösewitzscher Dichtungsring).*)

Abb. 109 bis 112.

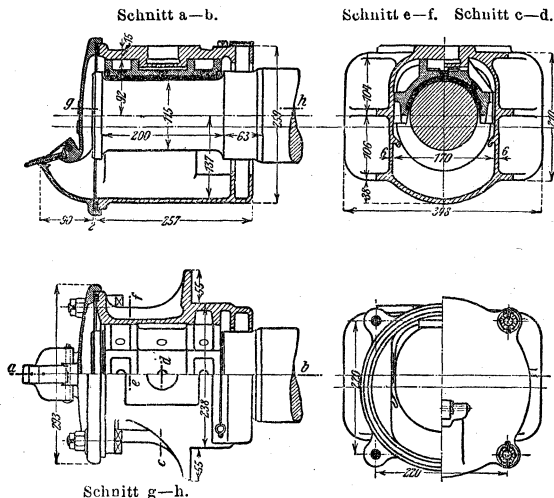
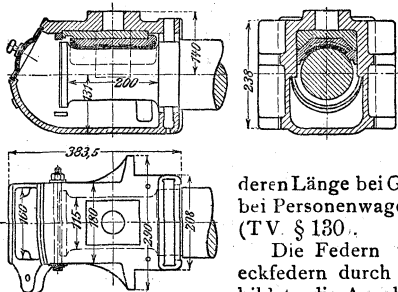


Abb. 113 bis 115.



6. Tragfedern. Alle

Wagen müssen mit Tragfedern versehen sein (B.O. § 37, TV.* § 130, TE. § 19, Grz § 80).

Für die Wagen ohne Drehgestelle werden Blatt-Tragfedern mit einer Blattstärke ≥ 13 mm empfohlen,

deren Länge bei Güterwagen mindestens 1000 mm, bei Personenzügen mindestens 1500 mm beträgt (TV. § 130.).

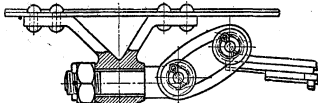
Die Federn werden als geschichtete Dreieckfedern durch aufeinanderliegende Blätter gebildet; die Anzahl der Lagen (7 bis 12) richtet sich nach der Belastung und der Länge. Sicherung gegen Verschieben durch Stift in der Mitte, seitliche Nut mit Feder oder neuerdings durch durchgedrückte Mittelwarze. Federbund wird warm aufgezogen.

Federblatt der preuss. Norm.: 90 · 13 mm; oben in der Mitte eine kreisförmige Nut, unten eine mittlere Rippe; Querschnitt des Blattes 11,5 qcm, Gewicht 9,04 kg/m.

*) S. Gl. A. 1890, Bd. 27 S. 31.

Das oberste Blatt ist an den Enden zu Krallen umgebogen, die mittels Bolzen (30 mm Dmr.) und Hängelaschen oder Kettenglied mit dem Federbock verbunden sind. Güterwagen des deutschen Staatsbahnwagenverbandes haben Hängelaschen von 100 mm Länge; Personenwagen der preussischen Staatsbahnen haben Kettenglieder (bei Endachsen 120 mm, bei Mittelachsen 160 mm lang), die mit dem Federbock durch verstellbare Verschraubungen verbunden sind, um durch Anspannen der Federn die Höhenlage des Wagens verändern zu können (vgl. Abb. 116). Damit bei Federbruch der Wagen nicht zu tief herunterschlägt, am Langträger über der Federmitte ein Fangbock.

Abb. 116.



Material der Federblätter Flußstahl, im ungehärteten Zustande mit $K_z \geq 65 \text{ kg/qmm}$ und einer Dehnung $q \geq 10 \text{ vH}$; dabei $K_z + 2q \geq 95$. — Berechnung s. I. B1. S. 612 u. f.; die Pfeilhöhe p der Feder bei voller, ruhender Belastung ($p = 100$ bis 110 mm), vermehrt um die durch letztere hervorgerufene Durchbiegung f , ergibt die Aufbiegung p_0 , so daß der Krümmungshalbmesser r der Blätter vor dem Zusammenstellen der Feder etwa $r = l^2 : 2p_0$ ist, wenn l gleich halber Federlänge.

Federn der Güterwagen des deutschen Staatsbahnwagenverbandes aus 10 Lagen (1000 und 1100 mm lang von Mitte bis Mitte Auge im geraden Zustande) und 11 Lagen (1100 mm lang); Federbund: Fl.-E. 100 . 15 mm.

Federn der preuß. Personenwagen 2000 mm lang von Mitte bis Mitte Auge im geraden Zustande; 9, 10 und 12 Lagen; mit Federbund (Fl.-E. 100 . 15 mm) etwa 110, 117 und 143 kg schwer.

Schraubenfedern besitzen keine innere Reibung, dämpfen daher die Schwingungen nicht.

7. Drehgestelle und Lenkachsen für große Radstände. Drehgestelle der Personenwagen meist aus Pressblechen, der Güterwagen meist aus Stäben (Diamonddrehgestelle) zusammengesetzt. Der Radstand des Drehgestelles muß größer sein als die Spurweite sein.

Vereins-Lenkachsen*) sind Wagenachsen, die Einstellung nach dem Krümmungsmittelpunkte in allen vorkommenden Bahnkrümmungen gestatten. — Ausgeschlossen sind: Drehgestelle mit mehr als einer Achse; ferner Einzelachsen, bei denen nur ein größter Ausschlag von $\pm 5 \text{ mm}$ möglich ist.

Man unterscheidet:

a) nach der Art der Einstellung: **Freie** Lenkachsen, bei denen jede Achse eines Wagens sich unabhängig von den übrigen radial einstellen kann; **gekuppelte** Lenkachsen, die derart miteinander verbunden sind, daß sie sich nur gleichzeitig und symmetrisch zur Mitte des Radstandes einstellen können.

b) nach der Fahrgeschwindigkeit: **Gruppe A**, unbeschränkt für alle Geschwindigkeiten; **Gruppe B**, beschränkt, für Geschwindigkeiten bis höchstens 50 km/st.

Bedingungen für Uebergangsfähigkeit der Wagen mit Vereinslenkachsen s. TV. § 119 bis 123.

8. Verschiebbarkeit der Mittelachsen (TV.* § 129, B O. § 30). Bei Wagen mit mehr als zwei Achsen in einem gemeinsamen Rahmen

*) Ausführliches s. Frank, Z. d. V. d. I. 1892 S. 685 u. f. Ferner V. D. E. V., Die Vereins-Lenkachsen, 2. Aufl. — V. D. E. V., Freie Lenkachsen für Zuggeschwindigkeiten bis 90 km/st und für Wagen mit und ohne Bremse; Wiesbaden 1891, C. W. Kreidel.

mufs die Mittelachse eine dem Krümmungshalbmesser $R = 180$ m entsprechende Querverschiebbarkeit erhalten, falls die Räder der Mittelachsen Spurkränze besitzen und die Entfernung der Endachsen mehr als 4 m beträgt. Bei **dreilachsigen Wagen** mufs bei Radstand r die Querverschiebbarkeit a der Mittelachse mindestens betragen:

r in m . .	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
a in mm .	5	9	13	17	21	26	32	37	43	49	56	63

Besitzen die Endachsen eine Querverschiebbarkeit, so ist es zulässig, die vorstehenden Mafse a um den Betrag der Querverschiebbarkeit einer Endachse aus ihrer Mittelstellung zu vermindern.

Mittelachsen mit Rädern ohne Spurkränze dürfen keine besondere Querverschiebbarkeit haben. — Vrgl. auch Grz. § 78, Abs. 5 und 6.

d. Oberkasten und innere Einrichtungen.

1. Personenwagen.

Personenwagen als Abteilwagen oder als Durchgangswagen gebaut.

Lichte Kastenhöhe in der Mitte mindestens 2,0 m (T V. § 128).

Länge eines Abteils (in der Längsrichtung des Wagens) mit zwei Sitzreihen in der I. Klasse 2 bis 2,15 m, in der II. und III. Klasse 0,1 bis 0,2 m bzw 0,3 bis 0,5 m weniger. (Preufs. Norm. 2,1 bis 2,17, 1,995 bis 2,04 und 1,55 bis 1,627 m.) Der freie Raum zwischen den Sitzen 0,51 bis 0,66 m, für Stadtbahnverkehr bis 0,81 m. Sitzhöhe 0,45 bis 0,47 m über dem Fußboden.

Kastengerippe meist aus Holz (Eiche) in Amerika vielfach aus Eisen. Das untere Rahmenholz 160 bis 180 mm breit, 100 mm hoch; oberes Rahmenholz 60 bis 80 mm breit, 130 bis 160 mm hoch; Ecksäulen etwa 90 · 100 mm stark, Türsäulen 90 · 90 mm, Zwischensäulen 75 · 90 mm. Bei Abteilwagen kommt zwischen zwei Türsäulen eine Zwischensäule; Entfernung der Säulen in den Stirnwänden ungefähr gleich der in den Seitenwänden. Zwischen den Säulen Querriegel. Verbindung der einzelnen Hölzer unter sich durch Verzapfung und eiserner Winkel. Verbindung der Seitenwände durch Dachspriegel (Eiche oder Esche).

Bei Wagen ohne Untergestell (D-Wagen) müssen die Längswände als Träger ausgebildet werden (entweder Bekleidungsblech, 3 mm dick unter den Fenstern durchgehend, oder besser schräge Flacheisenzugstangen eingebaut).

Seiten- und Stirnwände werden innen durch Holz (meist Kiefer), 17 bis 20 mm dick, aufsen durch Blech, etwa 2 mm dick, verschalt. Der Boden erhält doppelte (bei IV. Klasse bisweilen nur eine einfache) Holzverschalung, 20 bis 25 mm dick. Bei D-Zugwagen neuerdings zur Erzielung ruhigeren Ganges freitragender Fußboden, der durch besondere, nur auf den äußeren Langträgern aufliegende Querhölzer getragen wird. Außere Deckenverschalung etwa 25 mm dick, die innere (nur bei I. und II. Klasse vorhanden) etwa 10 mm dick.

Wagen gatt u n g

W a g e n g a t t u n g											
mit oder ohne Bremse	Zahl der Achsen	Zahl der Plätze bzw. Ladegewicht	Lichte Kastenlänge m	Lichte Kastenweite m	Kastenhöhe in der Mitte m	Bodenfläche m ²	Höhe der Plattform über S.-O. m	Länge des Untergestells m	t Eigengewicht	m Radstand	
1. P e r s o n e n w a g e n .											
Abteilwagen	mit	3	5 + 25	11,64	2,47	auschl. Oberlicht 2,2 bis 2,3 m, Oberlicht einschl. 17,32 etwa 0,3m mehr	1,287	11,78	204	7,5	
"	"	3	13 + 33	11,62	"		12,16	21,235	8,0		
"	"	3	50	10,8	"		11,34	193	7,5		
"	"	3	60	10,36	"		10,9	1744	"		
Durchgangswagen	"	3	60	9,06	2,97		"	17,45	7,0		
Abteilwagen	"	3	8 + 29	16,89	2,47		"	17,43	56,775	14,75	
"	"	4	75	16,78	"		"	17,32	33,82	"	
D-Zugwagen	"	4	8 + 30	18,51	2,73		1,27	18,65	41,86	15,65	
"	"	4 ¹⁾	68	18,34	2,79		"	18,475	41,86	15,4	
D-Wagen I Orleans-B.	"	2	21	11,94	2,978		"	12,07	140	7,0	
2. G e p ä c k w a g e n .											
Güterzuggepäckwagen	mit	2	4 t	7,995	2,55		1,222	7,2	11,16	4,7	
Personenzuggepäckwagen	"	3	6 t	10,50	2,47		1,207	10,7	11,15	7,5	
3. G ü t e r w a g e n .											
Bedeckter Güterwagen	mit	2	15 t	7,92	2,69	2,25	21,3	1,222	8,3	10,4	4,5
Offener "	ohne	2	"	6,72	2,72	1,0	18,88	"	7,5	8,1	4,0
"	"	2	"	"	"	1,30	"	"	6,8	7,4	"
Eiserner Kohlenwagen	mit	2	20 t	5,3	2,786	1,5	17,1	"	6,0	8,47	3,3
"	"	2	"	6,0	2,85	1,55	21,38	"	6,7	8,15	4,0
Kokswagen	"	2	20 t	7,72	2,756	1,78	14,85	1,232	8,5	5,49	4,5
Kalkdeckelwagen	"	2	15 t	5,29	2,808	1,78	27,0	1,222	6,0	9,25	3,3
Rungenwagen	"	2	"	10,12	2,97	0,4	39,05	1,297	10,9	17,9	6,5
Plattformwagen	"	2	30 t	14,2	2,75	—	35,7	1,305	13,0	18,12	10,0
"	"	4	40 t	14,0	2,55	—	35,7	1,305	14,0	14,15	10,8
Langholzwagen	ohne	4	15 t	8,0	2,6	—	20,8	1,232	8,0	8,5	4,5
Bedeckter Güterwagen	mit	4	27 t	10,16	2,48	1,537	10,37	1,232	10,37	16,8	8,84
Kohlenwagen	"	4	36 t	10,07	2,59	1,537	28,3	1,295	11,10	16,8	9,505
Erzwagen Franz. Südb.	"	4	50 t	10,6	2,63	1,0	27,9	1,270	10,68	15,4	8,35
4. P o s t w a g e n .											
Postwagen Preufs. Staatsb.	mit	4	60 t	11,86	2,67	2,773	31,57	1,167	12,40	23,72	10,5
Verein. Post- und Gepäckwagen Preufs. Staatsb.	"	4	300 + 300 t	7,3	2,75	2,775	20,08	1,133	17,3	28,5	14,5
							+ 16,64				

1) Auch sechs bis etwa 45 t Eigengewicht.

Türen im lichten 0,6 bis 0,7 m breit, 1,7 bis 2 m hoch (preufs. Norm. 0,60 · 1,85 m). Türen der Durchgangswagen IV. Klasse zweiflügelig, etwa 1 m breit für Verwundetentransporte.

Türen in den Langseiten müssen mit mindestens doppelter Verschlussvorrichtung versehen sein; bei Lokalbahnen genügt einfacher Verschluss. Einer der beiden Verschlüsse soll ein Vorreiber oder Einreiber sein (BO. § 39; vgl. auch TV. § 137 u. Grz. § 82). Abmessungen der Dornverschlüsse s. TV.* § 137, Grz. § 82, TE. § 23.

Die Türöffnungen sind im Inneren mit Schutzvorrichtungen gegen das Einklemmen der Finger in den Türfalzen zu versehen (BO. § 39; TV. § 137; Grz. § 82). Bedingt die Wagenbreite besondere Vorkehrungen gegen Gefährdung der Reisenden durch Hinausbeugen, so sind Warnungsanschriften anzubringen, die bei mehr als 2,9 m Kastenbreite stets vorhanden sein müssen (BO. § 39, TV.* § 116, Grz. § 77).

Von den **Trittbrettern** liegt das untere bei 1040 mm Pufferstand etwa 600 mm über S.O. Steighöhen etwa 28 bis 33 cm. Das untere Trittbrett (etwa 315 · 45 mm) wird bei Abteilwagen durchgehend (als Laufbrett) angeordnet und aufsen bis an die Umgrenzungslinie der festen Teile gelegt (s. S. 888 u. 925). Lauf- und Trittbretter sollen 300 mm hinter der Stoßfläche der nicht zusammengedrückten Puffer zurückstehen (BO. § 34; TV.* § 135).

Personenwagen mit **Uebergangsbrücken oder Faltenbälgen** (D-Züge) müssen den TV.* § 136 entsprechen — Wegen Notbremse und Notsignal vgl. TV.* § 132. TV. § 135 empfehlen für Personenwagen **Dachlaufbretter**, deren über den Dachrand ausladende Enden höchstens 250 mm hinter der Stoßfläche der nicht zusammengedrückten Puffer zurückstehen.

Beleuchtung der Personenwagen (vgl. BO. § 39; TV. § 166; Grz. § 100) s. II. Bd. S. 838 u. 854. Bei Gasbeleuchtung erhält jeder Wagen einen oder mehrere schmiedeiserne Behälter von 400 bis 550 mm Dmr. und 1500 bis 3300 mm Länge; Gesamtinhalt bis zu 1600 l, meist für 16- bis 32-stündige Brenndauer berechnet. Leitungsdurchmesser 10 mm, für Abzweigleitungen 6 bis 8 mm.

Ueber Abmessungen einzelner Teile der Gasbeleuchtung s. TV. § 138.

Heizung (vgl. BO. § 39) durch Wärmflaschen (Italien), Prefskohlen, Oefen (nur bei großen Räumen zweckmäßig), Gas (bayer. Bierwagen), Warmwasser (Schlafwagen), hauptsächlich jedoch durch **Dampf** (in Frankreich auch mit Druckluft gemischt, System Laucrenon) von der Lokomotive oder vereinzelt noch von besonders mitgeführtem Heizkesselwagen. Leitung für Dampf von 4 bis 6 at läuft durch den ganzen Zug.

Verbindung der einzelnen Wagen durch Schlauchkupplung mit Kegeldichtung und Schraubenbügel. Abmessungen s. TV.* § 82. Neigung der Leitungsrohre von Wagenmitte nach den Stirnseiten 1:100.

Preufs. Staatsb. **Niederdruckdampfheizung**: Die Heizkörper (in jedem Abteil zwei Heizschlangen mit Oberflächenverhältnis 1:2) stehen einerseits mit der Hauptdampfleitung, andererseits mit der freien Luft in Verbindung. Anstellung der großen Heizfläche durch den Wagenwärter gleichzeitig für alle Abteile, der kleinen nach Belieben durch den Reisenden für jedes Abteil einzeln.

Erforderliche Heizfläche auf 1 cbm Rauminhalt

bei Ofenheizung	0 02 qm
„ Luftheizung	0 03 „
„ Preßkohlenheizung	0 13 „
„ Dampfheizung	0 10 bis 0 15 „
„ Warmwasserheizung	0 15 „ 0 25 „

Die größte Länge des von einer Stelle zu heizenden Zuges

Temperatur in C.	Zahl der Achsen bei	
	dreiaxigen Wagen	vieraxigen Wagen
0	30 bis 40	—
— 5	20 „ 30	30 bis 40
— 10	15 „ 20	20 „ 30
— 15	15	15 „ 20

Kosten für die Stunde und Abteil etwa 1,5 M für Ofenheizung, 3 M für Luft-
heizung, 3 bis 5 M für Dampfheizung, 6 M für Preßkohlenheizung.

Lüftung. Durchschnittsluftmengen für einen Platz

I. Kl. 1,9 bis 2,3 cbm, II. Kl. 1 3 bis 1,5 cbm, III. Kl. 0,8 bis 1,0 cbm.

Bei 1 cbm Luftmenge für den Kopf ist ein mindestens siebzehnfacher
Luftwechsel stündlich erforderlich.

Lüftungsklappen oder Schieber im Oberlichtaufbau; neuerdings viel
angewendet Lüftungslappfenster über den Seitenfenstern. Absaugen
verbrauchter Luft durch Sauger (Potsdamer, Grove-, Torpedo-Sauger
am besten bewährt).

Abmessungen ausgeführter Wagen s. Tafel S. 933.

2. Gepäck- und Postwagen.

Bauart des Oberkastens im allgemeinen wie bei den Personenwagen.
Gepäckwagen für Personenzüge 2-, 3- und 4-achsig, für Güterzüge
2-achsig, erhalten neben Gepäckabteil neuerdings meist besonderes Zug-
führerabteil (preussische Norm. 2400 mm lang bei 2- und 3-achsig
Wagen, 1700 mm lang, u. zw. in Wagenmitte liegend, bei 4-achsig
Wagen). Länge des Gepäckabteils bei 2- und 3-achsig
Wagen etwa 5 5 bis 8 m für Personenzüge und 4,5 bis 7 m für Güterzüge,
bei 4-achsig
Wagen jedes der beiden Gepäckabteile etwa 6,5 bis 7 m lang.
Fußboden des Zugführerabteils mitunter teilweise überhöht. Der unter
dieser Ueberhöhung bleibende Raum wird als Hundeabteil oder zum
Unterbringen von Werkzeugen und Hilfsmitteln bei Zugtrennungen (vgl.
T. V. § 163; Grz. § 99) benutzt. Neuerdings werden Hundeabteile bei
preussischen Staatsbahnen allgemein bis zum Wagendach durchgehend
und möglichst gegen Zugluft geschützt ausgeführt. Gepäckabteil erhält
seitliche Schiebetüren. Bei Packwagen für internationalen Verkehr noch
eine besondere Abteilung, die mit zollsicherem Verschluss versehen werden
kann. Gepäckwagen haben stets Bremse und neuerdings meist Abort.

Bei den **Postwagen** sind die Räume für den Brief- und Paketdienst
getrennt anzuordnen. Die Seitentüren der Postwagen baut man vielfach

nischenförmig ein, um an Kastenbreite zu gewinnen; Seitentüren in den Längswänden auch bei D-Zugpostwagen mit Seitengang; unter dem Fußboden bisweilen auch noch Kasten.

Abmessungen ausgeführter Wagen s. Tafel S 933.

3. Güterwagen.

Fußboden ≥ 170 mm über den Puffermitten, ausgenommen Wagen für besondere Zwecke (B O. § 40). Nach T V. § 126 soll bei Pufferhöhe $1,040 \pm 0,025$ m die Fußbodenhöhe 1,22 m über S.-O. betragen.

Bedeckte Güterwagen. Lichte Kastenhöhe mindestens 2 m, lichte Kastenbreite mindestens 2,4 m (T V. § 128). Kastenlänge bei zweiachsigen Wagen 5 bis 8 m, bei dreiachsigen 6,5 bis 8,5 m, bei vierachsigen 7 bis 10 m. Kastengerippe ähnlich wie bei den Personenwagen aus Holz, neuerdings vielfach aus Eisen.

Der Bodenbelag, querliegende Kieferbohlen 50 bis 60 mm stark (deutsche Norm. 55 mm), wird unmittelbar auf dem Untergestell befestigt, die Rungen (meist \sqcup -Eisen; deutsch. Norm.: Seitenrungen $\sqcup 91,5 \cdot 8,5 \cdot 26,5 \cdot 10,7$, Stirnwandrungen $\sqcup 117,5 \cdot 10 \cdot 65 \cdot 10$), an Konsolen des Langträgers bzw. an den Kopfschwellen und an den Rungen mit Fugenschrauben die einfache Verschalung der Wände (Kiefernholz, gespundet 20 bis 40 mm dick). In den Langseiten Schiebetüren, deutsch. Norm 1,5 m lichte Weite und 2,0 m lichte Höhe (T V. § 128 empfehlen $\geq 1,9$ m), und je ein Lüftungsschieber und eine Ladeluke. Dachspiegel (eichen) etwa 65·55 mm. Dächer gewölbt, 100 bis 150 mm Pfeil, aus 25 mm dicken Schalbretern mit eisernen Federn; Abdichtung durch Deckenmasse (etwa 5 mm dick) und Segeltuch. — **Viehwagen** für Kleinvieh doppelbödig, mit Futterkasten zwischen den Achsen. **Bierwagen, Fleischwagen, Butterwagen** usw. erhalten mehrfache Verschalungen meist mit Isolation dazwischen (Kokosnussfaser, Rohrabfälle) und Drehtüren, weil diese dichter schließen. Meist mit Eisbehälter, Bierwagen bisweilen auch Gasöfen (für den Winter).

Offene Güterwagen, im allgemeinen wie die bedeckten gebaut, aber auch fast vollständig aus Prefsteilen; eiserne Wände 5 bis 6 mm stark, Buckelplatten oder, wenn hölzerne, Verschalung: 30 bis 50 mm stark, zweiflügelige Drehtüren, lichte Weite etwa 1,5 m, Stirnwände entweder heraushebbar oder meist oben drehbar gelagert; Verschluss durch Daumenwelle. Höhe der Seitenwände bis zu 2 m (letzteres bei Wagen für Großvieh). **Plattformwagen** (meist ohne Seitenwände) sind mit aushebbaren oder umklappbaren Rungen versehen. Drehgestelle aus Prefblechen oder Diamond-Bauart, mit Blattfedern oder je 8 zylindrischen Spiralfedern aus Rundstahl gestatten vollständige Kreisbewegung (wichtig wegen Beförderung über kurze Drehscheiben). 4 Langträger, 2 äufsere $\text{I } 235 \cdot 10 \cdot 90 \cdot 12,8$ und 2 mittlere $\text{I } 235 \cdot 10 \cdot 90 \cdot 12,8$, letztere durch je ein Hängewerk abgesteift. **Langholzwagen** erhalten je einen Drehschemel. 2 solcher Wagen werden durch starre Kuppelstange, 4 und 2 m lang (Vrgl. T V. § 134 u. 168), miteinander verbunden **Kalkdeckelwagen** ähnlich den eisernen Kohlenwagen, aber mit wasserdicht schließenden Deckeln (6 Stück, Blechdicke 2 mm, Buckelplatten).

Abmessungen ausgeführter Wagen s. Tafel S. 933

4. Wagen für besondere Zwecke.

Wagen mit Tragkorb für besonders große Gegenstände, Schwungräder, Spiegelscheiben usw.; Tragkorb zwischen den Achsen bis auf 130 mm über S.-O. hinabreichend. — **Trichterwagen** für Kohlen, Erze u. dgl. mit schrägen Wänden und Bodenklappen bedürfen besonderer Entladeanlagen (Rümpfe zwischen den Schienen), besonders im Saargebiet verwendet, in Amerika bis zu 50 t Tragfähigkeit. — **Behälterwagen** zur Beförderung von Flüssigkeiten (Teer, Säuren, Petroleum, Wein) und von Gas, mit topf-, becken- oder kesselförmigen Behältern. — **Bauwagen** für Neubauzwecke, mit niedrigen, umklappbaren Seitenwänden, meist aus älteren offenen Wagen hergestellt. — **Hilfswagen** für Aufräumarbeiten, meist bedeckte Güterwagen mit entsprechender Ausrüstung. — **Kranwagen**, entsprechend den Langholzwagen, mit Kran von 5 bis 50 t Tragfähigkeit ausgestattet. — **Bahnmeisterwagen** als niedrige Plattformwagen; Plattform etwa 2,0 m lang, 1,8 m breit.

III. EISENBAHNWERKSTÄTTENANLAGEN.*)

a. Allgemeines.

1. Untersuchungszeiträume der Fahrzeuge. Lokomotiven und Triebwagen mindestens alle drei Jahre. — Innere Untersuchung des Lokomotivkessels erstmalig nach acht, später alle sechs Jahre. — Personen-, Gepäck-, Post- und Güterwagen in Schnellzügen laufend längstens alle sechs Monate; die übrigen Personen-, Gepäck- und Postwagen längstens alle Jahre, Güterwagen und Tender spätestens alle drei Jahre. Solange ein Wagen nicht 30 000 km durchlaufen hat, können die Fristen von sechs Monaten und einem Jahr bis zur Dauer von drei Jahren überschritten werden. — Die preuss.-hess. Staatsbahnen schreiben vor für Schnellzugwagen: Laufweg 40 000 km (unter ungünstigen Verhältnissen kann Laufweg auf 30 000 km eingeschränkt werden), Laufzeit 6 Monate; Personenzugwagen: Laufweg 55 000 km (unter ungünstigen Verhältnissen 45 000 km), Laufzeit 12 Monate.

2. Leistungen der Fahrzeuge. Jährliche Leistung einer Lokomotive (einschl. Leertfahrten, Verschiebedienst, 1 st = 10 km usw.) bei großen Verwaltungen 40 000 bis 49 000 km, davon 26 000 bis 34 000 Nutz-km, bei kleinen und kleinsten Verwaltungen je nach Ausnutzungsmöglichkeit 9600 bis 64 500 bzw. 6200 bis 61 000 km. Mittlere und größte Jahresleistungen bei Zwischen- oder Mehrfachbesetzung bei

Schnellzuglokomotiven . .	70 bis 80 000 km bzw. 90 000 km
Personenzuglokomotiven . .	50 „ 60 000 „ „ 80 000 „
Güterzuglokomotiven . . .	30 „ 40 000 „ „ 45 000 „

doch kommen bei günstigen Verhältnissen und kurzen Ausbesserungszeiten auch bis etwa 50 vH höhere Werte vor.

Eine Personenwagenachse durchläuft durchschnittlich einen Weg von etwa 48 000 bis 53 000 km, eine Gepäckwagenachse 49 000 bis 55 000 km, eine Güterwagenachse 16 000 bis 17 000 km im Jahre.

3. Ausbesserungsdauer der Fahrzeuge ist abhängig von ihrer Bauart, von ihrer Inanspruchnahme im Betriebe, von der Belastung und Ausrüstung der Werkstätten und den Arbeitsverfahren.

*) Vrgl. a. Abschn. Fabrikanlagen, S. 464 u. f.

Mittelwerte für Ausbesserung	für Untersuchung
der Lokomotiven . . . 20 bis 30 Tage	70 bis 90 Tage
der Personenwagen . . . 3 6 „ 4,2 „	14 „ 18 „
der Post- u. Gepäckwagen 6 „ 8 „	24 „ 28 „
der Güterwagen . . . 5 „ 8 „	15 „ 20 „

4. Unterhaltungskosten, d. h. Unterhaltung, Erneuerung und Ergänzung, aber ausschliesslich Leitung und Unterhaltung der dazu nötigen Werkstätten für Lokomotiven bei den deutschen Staatsbahnen (1908) 13,0 ¢ für das Lokomotiv-km, 20,6 ¢ für das Nutz-km. Diese Ziffern können für Lokomotiven von etwa 65 000 *M* Wert gelten; teurere oder billigere Lokomotiven verhältnismässig mehr oder weniger. Für Lokomotiven kleinerer Verwaltungen kann bei etwa 30 000 *M* Wert 9 ¢ für das Lokomotiv-km angenommen werden; für Personen- und Gepäckwagen bzw. Güter- und Arbeitswagen der Staatsbahnen etwa 8 89 bzw. 5,05 ¢ für 1000 Achs-km, für die kleineren Verwaltungen etwa 5,5 bzw. 4,5 ¢.

b. Ort, Einteilung und Grösse der Werkstätten.

1. Grössere **Eisenbahnwerkstätten** sind an Hauptverkehrspunkte zu legen, wo ein annähernd gleichmässiger Zufluss von auszubessernden Fahrzeugen vorhanden ist. Die Anlage von grossen Werkstätten ist der von mehreren kleinen vorzuziehen. Die Herstellung von Massenartikeln, z. B. Nieten, Schrauben usw., zur Preiskontrolle und für dringenden Bedarf in einzelnen Werkstätten einer Verwaltung zweckmässig.*)

2. Die **Einteilung der Werkstätten** bei den preuss.-hess. Staatsbahnen:

Hauptwerkstätten (für alle und besonders umfangreiche Ausbesserungen),

Nebenwerkstätten (für alle Ausbesserungen),

Betriebswerkstätten (für kleinere laufende und schleunige Ausbesserungen, besonders während der Betriebspausen) s. S. 869

3. **Grösse der Werkstätten.** T. V. § 63 empfehlen für Hauptbahnen **bedeckte Arbeitsräume** für 25 vH der der Werkstätte zur Unterhaltung zugewiesenen Lokomotiven, für 10 vH der Personenwagen und mindestens 3 vH der Güterwagen. Ausserdem sollen noch **im Freien** 5 vH der sämtlichen Wagen auf den Gleisen innerhalb der Einfriedigung der Werkstätte Platz finden. (Diese Zahlen sind als Größtwerte anzusehen; der tatsächliche Ausbesserungsstand beträgt in Deutschland nur 16 bis 18, bei hoher Beanspruchung bis 20 vH bei Lokomotiven, 8 bis 10 vH bei Tendern, 8 bis 10 vH bei Personen- und 3 bis 4 vH bei Güterwagen.) Bei Bahnen mit mittelstarkem Verkehr kann man auch 30 bis 45 qm bedeckten Raum auf 1 km Bahnlänge rechnen.

Größsenbemessung unter Berücksichtigung der durch die in nächster Zeit zu erwartende Verkehrssteigerung bedingten dauernden Vermehrung der Fahrzeuge.

Diese Vermehrung betrug bei den preuss.-hess. Staatsbahnen im Durchschnitt der letzten 10 Jahre bei Lokomotiven etwa 4,5 vH, bei den

*) Rother, Allg. B. 1906 S. 62 bis 68, Ueber Bau und Einrichtung von Eisenbahnwerkstätten.

Personenwagenachsen etwa 6,5 vH, bei Gepäckwagenachsen etwa 6,5 vH und bei Güterwagenachsen etwa 4 vH jährlich.

Die Möglichkeit einer Erweiterung der Werkstätten ist zu berücksichtigen. Schnelle und sichere Zu- und Abfuhr der Fahrzeuge darf durch Bahnhofsanlagen möglichst wenig gehindert werden (Probefahrten), ist außerdem vom Zu- und Abgang der Arbeiter und Straßenzufuhrwerke zu trennen. Besondere Zufuhrgleise für Lokomotiven und Wagen, erstere mit Drehscheibe verbunden.

4. Anzahl der Werkstättenarbeiter.*)

	Für die der Werkstatt zur Unterhaltung zugeteilten Fahrzeuge	Für die in der Werkstatt stehenden Fahrzeuge
für 1 Lokomotive	1,3 bis 1,8	7 bis 13
„ 1 Post- oder Personenwagen	0,2 „ 0,4	2 „ 4
„ 1 Gepäck- oder Güterwagen	0,03 „ 0,06	0,7 „ 1,5

In reinen Lokomotivwerkstätten sind im Durchschnitt für einen Stand (einschl. Lackier- und Anheizstände) 6 bis 7,5 Arbeiter, in reinen Wagenwerkstätten 2,5 bis 3,75 Arbeiter ausreichend.

Die Arbeiter verteilen sich in vH auf die einzelnen Abteilungen etwa wie folgt:

Arbeiter	In einer Lokomotivwerkstätte	In einer Wagenwerkstätte	In einer Werkstätte für Oberbau usw.
Schlosser	46	30	50
Schmiede, Kesselschmiede	17	9	14
Dreher, Hobler und Bohrer	16	8	18
Klempner, Glaser, Gießer und Kupferschmiede	3	3,5	.
Lackierer, Anstreicher	1,5	11	2
Tischler, Stellmacher	bis 1	20	.
Sattler, Tapezierer, Plannäher . . . . .	.	6	.
Hülsenarbeiter	15,5	12,5	16

An Aufsichtsbeamten sind für 30 bis 50 Arbeiter ein Werkführer oder Vorarbeiter, für 90 bis 120 Arbeiter ein Werkmeister erforderlich.

c. Werkstattabteilungen und Grundriffsarten.

1. Erforderliche Räume: Lokomotivwerkstatt, Kesselschmiede, vereinzelt auch besondere Tenderwerkstatt, Heizrohrwerkstatt, Anheizraum; Wagenwerkstatt, Drehgestellwerkstatt, Wagenuntersuchungsschuppen, Dreherei, Räderwerkstatt, Werkstatt für Werkzeuganfertigung, Schmiede, Kupferschmiede, Gelbgießerei (bei einzelnen Werkstätten auch Eisengießerei) mit Modellerschuppen, Stellmacherei, Tischlerei (auch für Modelle), Lackiererei, Feinschleiferei, Sattlerei und Tapeziererei, Klempnerei, Glaserei,

*) Nach Troske (E. T. d. G. Abschnitt Werkstätten, S. 757; vgl. auch Oppermann, Gl. A. 1889 u. 1890.

Metallputzraum, Abteilung für Herstellung und Ausbesserung von Weichen, Stellwerkanlagen, mechanischen und elektrischen Einrichtungen, Abkocherei für Achsbuchsen usw., Desinfektionsanstalt, Holztrockenanlage, Wiegeschuppen, Inventarienkammer.

Außerdem: Hauptmagazin, Eisenlager, Holzschuppen, Wasserstation mit Turm, Kohlenbansen, Altmaterialbansen, Achsenparke, Maschinen- und Kesselhaus, Verwaltungsgebäude, Spritzenhaus, Pfortnerhaus, Wasch- und Ankleideräume, Speisesaal, Aborte, Badeeinrichtungen. Dienstwohngebäude für Vorstände und für die Mannschaften zur Bewachung, zum Feuerlöschdienst und zur Besetzung der Hülfszüge; bei größerer Entfernung von der Stadt besondere Kolonien.

Die Räume sind so nebeneinanderzulegen, daß die Arbeitsstücke möglichst kleine Wege zurückzulegen haben und eine Vergrößerung auch der einzelnen Arbeitsräume leicht möglich ist.

2. Für die Anordnung der Werkstätten zueinander ist ihre Größe und nicht zum wenigsten das Gelände maßgebend.

Hauptarten der Grundrissanordnung.

1. Trennung in einzelne Gebäude: Große, rechteckige, getrennte Gebäude für die Lokomotiv- und Wagenausbesserung; Schmiede und Kesselschmiede, Dreherei, Holzbearbeitung, Lackiererei usw. ebenfalls in besonderen, getrennten Gebäuden. Vorteile: Leichteste Vergrößerungsfähigkeit der ganzen Anlage, gute Tagesbeleuchtung; größter Schutz gegen allseitige Feuersgefahr. Nachteile: Hohe Baukosten; hohe Beförderungskosten der Gegenstände von Gebäude zu Gebäude; Unübersichtlichkeit; mehrere Betriebsmaschinen und Heizkesselanlagen erforderlich. (Beispiele: Leinhausen, Tempelhof, Dortmund.)

2. \sqsubset -förmige Anordnung: Zwei symmetrische Flügelbauten für Lokomotiv- und Wagenausbesserung durch die Dreherei usw. verbunden. Vorteile: Die beiden Hauptabteilungen sind zweckmäßig getrennt; einfache Erweiterung, gute Uebersichtlichkeit. Nachteile: Hohe Baukosten und schwierige Erwärmung wegen großer Entwicklung der Umfassungswände. (Beispiele: Witten, Grunewald, Karlsruhe.)

3. Rostförmige Anordnung: Großes Rechteck mit mehreren Innenhöfen, die zum Aufstellen von Achsen usw. dienen; auf der einen Seite Lokomotiv-, auf der anderen Wagenabteilung, dazwischen die Dreherei und in dem Mittelbau die Schmiede. Vorteile: Bequeme Verbindung und kurze Wege für die Materialien; leichte Uebersicht; gute Beleuchtung durch Seitenfenster. Nachteile: Beschränkte Erweiterungsfähigkeit; Innenhöfe bei Feuer unzugänglich. (Beispiele: Marburg, Lingen.)

4. Ungegliederte Anordnung: Ein einziger oder (wie in Danzig, Posen) für Lokomotiv- und Wagenabteilung je ein besonderer, rechteckiger Raum für alle Werkstätten; hierin Schmiede, Holzbearbeitung, Sattlerei, Verwaltungsräume usw. durch Zwischenwände abgeschlossen. Vorteile: Geringe Anlage- und Unterhaltungskosten der Gebäude; leichte Erwärmung; kurze Verbindungswege; beste Uebersichtlichkeit und Erweiterungsfähigkeit. Nachteil: Große Feuersgefahr für die ganze Anlage, daher für große Werkstätten nicht zu empfehlen. (Beispiele: Breslau [Oberschles. Bahn], Recklinghausen, Glasgow [Caledon. Bahn].)

d. Werkstattegebäude und Zubehör.

1. Die **Hochbauten** werden der besseren Uebersicht halber meist einstöckig und mit Oberlicht ausgeführt. Bei zweistöckigen Gebäuden werden vorzugsweise Kleindreherei, Tapeziererei und Sattlerei in das Obergeschoß verlegt. Ausführung im allgemeinen s. S. 320 u. f., Tore s. Lokomotiv- und Wagenschuppen S. 862 u. 867.

2. **Fußboden** der Dreherei aus Holz, in den anderen Werkstätten wenigstens an den Arbeitsständen Bohlen- oder Holzklotzpflaster; für den übrigen Teil Steinplatten, Beton mit Zementbelag oder Asphalt. An Stellen, wo großer Druck vorkommt, starke Bohlen oder besser Klotzpflaster. — Für Werkstätten, in denen mit Feuer gearbeitet wird (Schmiede, Gießerei, Kupferschmiede), Lehm-Estrich mit Zusatz von Hammerschlag, auch Kopfsteinpflaster oder Beton. In der Lackiererei Steinplatten, Backsteine, besser Asphalt- oder Zementfußboden (gute Reinigung, Staubsicherheit). Fußbodenhöhe in S.-O.; Abschluß des Fußbodens gegen Schiene durch Winkeleisen oder umgekehrte Schiene, beim Verschieben der Lokomotiven mit Brechstangen wird er sonst schnell zerstört; Beton wird durch Oel angegriffen.

3. **Beleuchtung**: Natürliche durch möglichst große Fenster und Oberlichtaufbauten. Künstliche s. II. Bd. S. 853. Steckdosen bei den einzelnen Ständen vorsehen

4. **Heizung** der Werkstättenräume (s. auch S. 498) meist durch Dampf, selten durch warme Luft oder Oefen. 10 bis 120° C, in der Lackiererei 15 bis 20° C und darüber. Schmiede bedarf keiner, Gießerei (hauptsächlich Formerei) und Kupferschmiede nur geringer Heizung. Benutzung des Abdampfes der Betriebsmaschine und der Dampfhammer ist nur bei kleinen Anlagen zu empfehlen, da weite Rohre erforderlich; bei großen Anlagen Frischdampf unter Rückgewinnung des Niederschlagwassers. Zur Dampferzeugung bisweilen ausgemusterte Lokomotivkessel, mit 4 bis 6 at arbeitend; Abdampf unter Dampf eingehender Lokomotiven kann unter Umständen für Heizung und Abkocherei noch wirtschaftlich ausgenutzt werden. — In Nordamerika häufig Luftheizung (Sturtevant).*)

5. **Lüftung** durch Klappenfenster in etwa 2 m Höhe und durch geeignete Dachausbildung, namentlich in der Schmiede, Gießerei, Kupferschmiede ausreichend vorsehen; vereinzelt künstliche Lüftung.

6. **Wasserleitung** (Wassergewinnung usw. s. S. 854). Am besten Ringleitung mit absperrbaren Teilstrecken. Frost und Erschütterungen bedingen für die Rohre 1,3 bis 1,5 m Tiefe unter S.-O. Außerhalb der Gebäude in 25 m Entfernung von den Wänden Wasserpfosten mit ortsüblichem Feuerwehrgewinde, innen neben den Umfassungsmauern oder quer unter den Ständen verlegt. Für je zwei Lokomotivstände ein Wasseranschluss; am Eingang zur Werkstatt, vor den Toren der Lokomotivhalle Wasserkrane und Reinigungsgruben; reichlicher Wasseranschluss in Nähe der Holzlager, Holzbearbeitungswerkstätten und Modellager. Bei Wasser aus Reinigungsanlagen oder offenen Gewässern besondere Trinkwasserleitung.

*) Luftheizung in Kopenhagen. Organ 1910 S. 197.

7. Feuerlöscheinrichtungen, d. h. Hydranten mit Schläuchen und Mundstücken, Feuermelder in den einzelnen Abteilungen, Alarmeinrichtungen für Mannschaften, in hochliegenden Stockwerken besondere Rettungsleitern, vor allem genügende Wassermengen mit dem der Höhe der Gebäude entsprechenden Druck sind erforderlich. Für große Werkstätten ständige Feuerwehr (auch Nachtposten). Besondere Feuerstraßen sind stets freizuhalten.

8. Entwässerung am besten durch unterirdischen, besteigbaren Querkanal (0,6.1,4 m) in jedem zweiten Schiffe. In die Kanäle können auch Wasser-, Prefluft-, Dampf-, Gas- usw. Leitungen gelegt werden. Bei Anschluß an Kanalisation sind große Schlamm-sammler erforderlich.

9. Gleisanlagen für die Zu- und Abfuhr der Fahrzeuge und zur Verbindung der einzelnen Abteilungen miteinander und mit den Magazinen. Getrennte Gleise für ankommende und abgehende Wagen; Aufstellungsgleis für Probezug; ferner für Aushülfsdrehgestelle der Personenwagen, für ausgemusterte Fahrzeuge, fertige Tender, Güterwagenausbesserung. Achsenhof (mit Kran) zur Aufstellung der Aushülfachsen.

Schmalspurgleise möglichst weit verzweigt, neben jedem zweiten Gleise der Wagenwerkstätten. Banderanordnung daher möglichst nur über jedem zweiten Gleise bei Lokomotiv- und Wagenhallen, um für Lagerung und schnelle Beförderung der Bauteile Platz zu haben.

e. Allgemeine maschinelle Einrichtungen.

1. Kraftwerk möglichst im Schwerpunkte des Kraftbedarfs. Errichtung von Dampfkraftwerken meist am wirtschaftlichsten, weil Dampf auch noch für Dampfhämmer, Abkocherei, Luftpumpenprüfanlage, Tischlerei, Holztrocknung, Heizung usw. erforderlich. Bei großen Anlagen — vielen Dampfhämmern usw. — empfiehlt sich Verwendung des Abdampfes zum Abkochen der Maschinenteile, zum Vorwärmen des Speisewassers, zum Betrieb von Abdampf injektoren usw. *) Auch die Aufstellung von Abdampfturbinen kann wirtschaftliche Vorteile bieten.

Sorgfältiger Wärmeschutz der Dampfleitungen und Flanschen bei der großen Ausdehnung des Netzes erforderlich.

Wo elektrischer Strom nicht sehr billig, eigene elektrische Anlage, die durch Uebernahme der Bahnbeleuchtung möglichst auszunutzen ist. Antrieb der Dynamos auch mit Dieselmotoren, Kraftgasmaschinen (Generatoren mit Rauchkammerlöschfeuer) je nach Brennstoffpreisen. Bei Berechnung der Wirtschaftlichkeit ist Ausdehnung der Werkstättenanlagen und Versorgung der Nebenbetriebe mit Dampf zu berücksichtigen. Bei Bezug der Elektrizität oder deren Erzeugung ohne Kesselanlage solche im Sommer außer Betrieb und der für Nebenzwecke erforderliche Dampf dann durch kleine konzessionsfreie Kessel geliefert. Schmiedehämmer, in diesem Falle elektrisch betrieben (Luft-hämmer), oder Schmiedepressen.

Kraftverbrauch kann überschläglich zu 0,6 PS für jede Arbeitsmaschine der Eisenbearbeitung und zu 1,7 PS für jede der kleineren Holzbearbeitungsmaschinen angenommen werden, wenn etwa 70 vH sämtlicher

*) Z. d. V. d. I. 1908 S. 687 u. f.

Maschinen gleichzeitig in Betrieb sind. Radsatzbänke u. dgl. besonders rechnen.

2. Kraftversorgung: Dreherei Hauptwellenleitung durch Betriebsmaschine angetrieben. Einzeln stehende Werkzeugmaschinen, Holzbearbeitungs-, Schleifmaschinen, Maschinen für Sonderzwecke erhalten, wenn Gruppenantrieb nicht besondere Vorteile verspricht, mit Rücksicht auf Sonntags- und Ueberstundenarbeit elektrischen Einzelantrieb. Schiebebühnen — Fahr- und Zugeilantrieb —, Drehscheiben, Krane, Aufzüge elektrisch betrieben. Ausgedehntes Leitungsnetz erforderlich für Antrieb beweglicher Arbeitsmaschinen und fahrbarer Motoren.

Prefsluft für Klopff-, Stemm-, Börtel- und Meißelarbeiten. Ferner zum Stauchen der Stehbolzen, für Hebezeuge, zum Reinigen der Wagen, zum Prüfen der Luftbremseinrichtungen, Reinigen der Wasserrohre bei Wasserrohr-, der Heiz-, Rauch- und Ueberhitzerrohre bei Lokomotivkesseln, zum Antrieb von Kniehebelnietmaschinen, wo kein Prefswasser vorhanden, zum Reinigen der Gußteile in Gießereien, zum Formen usw.; im allgemeinen unwirtschaftlich beim Betriebe von umlaufenden Werkzeugen, Schmiedefeuern, Schmiedehämmern, Werkzeugmaschinen. Für umlaufende Werkzeuge besser elektrischer Antrieb, Schmiedehämmer als elektrisch betriebene Lufthämmer. Prefsluftleitungen hinsichtlich Druckverluste nachrechnen (zweckmäßig Ringleitung) und besonders sorgfältig und zugänglich verlegen, da Undichtheiten nicht wie bei Dampf leicht sichtbar.

Für Luft-, Gas-, Wasser- usw. Leitungen zur leichten Kennzeichnung verschiedenfarbiger Anstrich zweckmäßig.

Windleitungen, wo häufig Nietarbeiten ausgeführt werden, jedenfalls in Kesselschmiede und Hammerschmiede.

3. Ausgedehnte Hebevorrichtungen für neuzeitlichen Betrieb, besonders in der Lokomotivhalle erforderlich, weil die Schnelligkeit, Genauigkeit der Arbeiten und damit auch die Wirtschaftlichkeit gehoben wird. Ueberschlagsgewichte von Lokomotivteilen:

Es wiegen	Bei den 2 B SLv	Bei den 2 B HSL	Bei den D GLv	Bei den 1 C GTL (Dr. Kraufs)
	kg	kg	kg	kg
1. Laufachse mit Achsbüchse .	1 650	1 700	—	1 890
2. " " " " .	1 650	1 700	—	—
1. gek. Achse " " .	Tr 3 950	Tr 4 250	2 470	2 800
2. " " " " .	3 750	4 050	2 470	Tr 3 050
3. " " " " .	—	—	Tr 3 050	2 520
4. " " " " .	—	—	2 470	—
Kessel einschl. Feuerbüchse .	12 800	14 300	13 350	10 250
Armatur	2 900	3 000	3 100	2 200
(Kupferne Feuerbüchse allein) .	(1 950)	(1 900)	(1 700)	(1 650)
Regler, Rohre, Rauchkammer .	1 100	2 650	1 150	800

Es wiegen	Bei den 2 <i>B-SLv</i>	Bei den 2 <i>B-HSL</i>	Bei den <i>D-GLv</i>	Bei den 1 <i>C-GTL</i> (Dr. Krauß)
	der Preussischen Staatsbahnen			
	kg	kg	kg	kg
Zylinder und Triebwerk . . .	4600	4550	5500	9 200
Steuerung	1200	800	1480	1 200
Rahmen und Zubehör . . .	8400	9650	8200	10 600
Führerhaus und Umlauf . . .	2250	2300	2100	1 800
Bekleidungen, Sandkasten usw.	1050	1100	1050	900
Züge, Handstangen . . .	290	400	290	180
Bremse (Luftdruck) . . .	1600	1500	(Dampf) 670	(Hand) 850
Drehgestell	1380	1450	—	—
Dampfheizung	105	105	—	—
Wasser- und Kohlenkasten . .	—	—	—	2 450

1 Staatsbahnwagen-Verbands-Radsatz wiegt \sim 1150 kg.

4. Große Werkstätten erhalten eigene Verschielokomotiven. Akkumulator- oder feuerlose Lokomotiven oft zweckmäßig (Einmannbesetzung). Elektrisch betriebene Spills an gewissen Stellen empfehlenswert.

Hängebahnen zur Verbindung von Dreherei mit den übrigen Hallen bieten bisweilen Vorteile.

Gleiswagen (Zentesimalwagen) möglichst im Ausgangsgleis (ohne Gleisunterbrechung); außerdem in Nähe des Magazins und der Altmaterialbansen. Wägeeinrichtungen s. a. S. 869.

f. Anordnung und Einrichtung der Werkstattsabteilungen.

1. **Lokomotivwerkstatt.** Alle Stände erhalten Arbeitsgruben (s. S. 864). Standlänge ohne den Raum für Werkbänke je nach Länge der Lokomotiven 12 bis 16 m, neuere Ausführungen 18 m, um noch Drehgestelle vor der Lokomotive untersuchen oder Achsen aufstellen zu können. Zwischen Wand und Arbeitsgrubenrand etwa 3,5 bis 5 m für Werkbänke und möglichst auch Schmalspurgleis. Zwischen Arbeitsgrube und Schiebebühnenrand 1,5 bis 2,5 m als Verkehrsweg. Abstand der Stände v. M. z. M. 5,5 m, besser 6 bis 7 m, um Putztische und Einzelteile zwischen den Lokomotiven aufstellen und lagern zu können. Länge der mit Aufziehvorrückung auszurüstenden Schiebebühne 12 m (s. S. 850). Entfernung der Säulenreihen zu beiden Seiten der Schiebebühnengrube mindestens 12,5 m. Laufkrane 12 bis 15 m Spannweite.

Höhe von S.-O bis Dachbinder-Auflager etwa 6 bis 7 m, in Laufkran-Schiffen rd. 2 m mehr; Halle ohne Schiebebühne etwa 12 m hoch, um Lokomotiven übereinander zu heben und zu bewegen; Lokomotiven mit Schornsteinen müssen beim Achswechsel etwa 1,6 bis 1,8 m gehoben werden können.

Besondere Stände zum Auf- und Abnehmen der Führerhäuser zweckmäßig; es ist wenigstens ein Stand zum Anheizen vorzusehen, der

möglichst mit den unter „Lokomotivschuppen“ (s. S. 862) angegebenen Einrichtungen auszurüsten ist.

Für eine Lokomotive etwa 4 **Schraubstöcke**, die in 1,5 m Entfernung voneinander an Werkbänken (etwa 0,8 m breit und 0,8 m hoch) anzu bringen sind. Einzelschmiedefeuer neben Feldschmieden für kleinere Arbeiten. Außerdem kleine Bohrmaschinen, Blechscheren, Schleifsteine usw.

Zum Heben der Lokomotiven von den Achsen **Windeböcke** 10, 12,5 bis 15 t von Hand oder elektrisch angetrieben (für Tender 5 t) und neuerdings elektrische **Laufkrane** von 45 bis 80 t Tragfähigkeit; zum Herausnehmen der Kessel bei Windeböcken ebenfalls Laufkrane (12, 20 bis 25 t); zum Auswechseln einzelner Achsen **Achssenken** zweckmäßs (s. S. 866).

Einbringen der Lokomotiven mittels Schiebebühnen (s. S. 850) oder Laufkrane auf den Stand (Lokomotiven übereinander querverschoben bei Querständen oder längs- und querverschoben bei Langständen; letztere Anordnung vielfach in Amerika, in Europa selten, z. B. Tempelhof, Trier). Für einzelne Achsen auch besondere kleine Schiebebühnen (ohne Laufgrube).*) Leichte Laufkrane oder Hülfswinden an schweren Kranen zum Anbringen und Befördern der Einzelteile (Zylinder, Führerhäuser, Dome, Schornsteine, Schieber usw.).

Zum Feststellen der Raddrücke der Lokomotiven besondere Wägevorrichtungen (s. S. 869).

Stände für einzelne **Tender** wie für Lokomotiven eingerichtet; für jeden Tender 7,0 bis 7,5 m Länge. Für Drehgestelle besonderen Platz.

2. Kesselschmiede gewöhnlich für mehrere Werkstätten. Kleinere Arbeiten in Lokomotivwerkstatt durch Kesselschmiedekolonnen. Standentfernung etwa 5 bis 6 m bei etwa 10 bis 14 m Länge. Anzahl der Stände etwa 2,5 bis 4 vH der zugewiesenen Lokomotiven. (Höhere Zahl bei schlechtem Kesselspeisewasser.) Befördern der Kessel mittels Laufkrane (Tragfähigkeit etwa 20 t u. mehr). Höhe bis Dachbinderauflager etwa 8,5 m. Raum für Werkzeugmaschinen, Feuer u. dgl. besonders bemessen. Für Wasserdruckproben möglichst besonderer Stand mit Reinigungsgrube. Für die schweren Werkzeugmaschinen Drehkrane. Windleitung für Nietöfen; Prefsluftleitung für Stemmarbeiten, elektrische Leitung zu den einzelnen Ständen. In größeren Werkstätten besondere hydraulische Nietanlage. Werkzeugmaschinen: Grofse und kleine Bohrmaschinen, Blechschere und Stanze, Blechkantenhobelmaschine, Fräsmaschinen, Stofsmaschinen für Bodenringe, Türlochringe usw. Plandrehbänke für Rohrwände, Rauchkammertüren, Winkeler u. s. w., Kaltsäge, Stehholzendrehbänke, feste und fahrbare Kesselbohrmaschinen, Richtplatten, Nietfeuer usw. Ferner Kesselwagen und Rollböcke, Nietgerüste nach Bedarf.

In der meist abgetrennten Kümpelei Glühofen, Polterfeuer, Schmiedefeuer, Blechbiegemaschine usw.

3. Gerätekammer zur Aufnahme und Wiederinstandsetzung der Lokomotivausrüstungsteile (Feuergeräte, Winden, Werkzeuge, Signalmittel, Laternen, Oelkannen usw.). Lage derart, dafs ein- und ausgehende Lokomotiven ohne grofse Wege bedient werden können.

*) Ferner O. f. F. 1885 S. 273.

4. Wagenwerkstatt. Der rechteckige Raum wird durch eine (möglichst unversenkte) Schieb Bühnenanlage (Grubenbreite 8 bis 9 m, bei Drehgestellwagen 18,5 bis 20 m oder auch zwei kleinere nebeneinanderliegende Schieb Bühnen) in zwei Teile zerlegt, beiderseitig Stände für 1 bis 3 Wagen (vgl. S. 867). Die Personenwagenstände sind sämtlich, die Güterwagenstände zur Hälfte mit Arbeitsgruben zu versehen. Abstand der Stände v. M. z. M. 5,3 bis 6,0 m; für Triebwagen bis 7,0 m zur Lagerung der Motoren usw. — Höhe von S.-O. bis Dachbinder-Auflager etwa 5,6 m. (Arbeiter müssen aber noch auf Dächern hochgehobener Wagen arbeiten können.)

Zum Heben und Senken der Wagen Windeböcke (5 bis 10 t). Kutt-ruffische Hebeböcke bedürfen keiner Querträger.*) Für Drehgestellwagen ortsfeste Hebeeinrichtungen mit Wasserdruck oder elektrischem Antrieb.

Die Stände für Untersuchung der Personen-, Gepäck- und Postwagen erhalten Anschluss an Prefsluft-, Gas- und Dampfleitungen zur Prüfung der Bremsen, Beleuchtungs- und Heizeinrichtungen.

Einige Schmiedefeuern, Schleifsteine, Bohrmaschinen, Blechscheren neben den meist an den Umfassungswänden aufzustellenden Werkbänken.

5. Wagenuntersuchungsschuppen bisweilen zunächst den Zufuhrgleisen, besonders für Güterwagenuntersuchung. Allseits geschlossene einfache Schuppen besser als nur überdeckte. Lagerraum für Vorratsstücke erforderlich.

6. Desinfektionsanlagen. Reinigung der Güterwagen auf den Bahnhöfen (Viehswagenwäsche), die der Personenwagen mit Prefsluft und Saugern wie in den Wagenschuppen (s. S. 867). Für die Bekämpfung der ansteckenden Krankheiten im Eisenbahnverkehr besondere Anweisungen entsprechend den Bestimmungen im Gesetz betr. die Bekämpfung gemeingefährlicher Krankheiten (vom 30. Juni 1900)**). Zu dem Zweck gut verschließbare Kammern, in denen unter Einführung von etwas Dampf (mit 0,05 bis 0,20 at Spannung) eine Wärme von 80 bis 90° C erzeugt und 2 bis 3 Stunden gehalten wird. In Potsdam besonderer Behälter (Patent Pintsch), dessen Innenraum mit den eingeschobenen Wagen durch Dampfheizung auf 40 bis 50° C erwärmt, in dem dann eine Luftverdünnung von 70 bis 74 cm Quecksilbersäule erzeugt und Formalin schnell verdampft wird, dessen Dämpfe beim Zulassen der Luft mit in die Poren eingesogen werden und vollständige Desinfektion bewirken. Anlage kann gleichzeitig zum Trocknen gewaschener Polster oder Holz ausgenutzt werden.

7. Dreherei erhält gewöhnlich in der Mitte ein Gleis zur Beförderung der Achsen und zu beiden Seiten die Werkzeugmaschinen, und zwar die größeren in der Nähe der Betriebsmaschine. Die Arbeitsstücke sollen nur kurze Wege zurücklegen, möglichst nur in einer Richtung.

Fläche der Dreherei $F = 1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ derjenigen der Schmiede, oder $F = 3,6 L + 2,0 W$ (nach Oppermann), oder $F = 2,9 L + 2,2 W$ (nach Troske), oder $F = 3$ qm für jeden Wagen + 25 qm für jeden

*) O. f. F. 1903 S. 26.

**) Schumacher, Die Desinfektion der Eisenbahn-Personenwagen in den Werkstätten, Gl. A. 1910 I S. 29 bis 36.

Lokomotivstand (nach Fränkel).*) ($L = \text{Arbeiteranzahl der Lokomotiv-},$
 $W = \text{diejenige der Wagenwerkstatt.}^{**})$

Besondere Drehereigebäude bei neueren Anlagen seltener, Werkzeugmaschinen in Anbauten der Lokomotiv- und Wagenhallen, sowie an deren Umfassungswänden oder leichtere bei hohen Mittelhallen auch auf Seitengalerien in Nebenschiffen aufgestellt.

Zum Aufbringen der Radsätze auf die Radsatzdrehbänke Träger mit Laufkatzen für elektrischen oder Prefsluftantrieb. In neueren Hallen auch Laufkrane. Zur Beförderung schwerer Gegenstände Schmalspurbahnen, Hängebahnen oder vereinzelt auch fahrbare Drehkrane.

In sehr großen Werkstätten getrennte Drehereien für Lokomotiv- und Wagenausbesserung.

Ausrüstung: Drehbänke, Fräsmaschinen, Hobel- und Stofsmaschinen, Schleifmaschinen, Plandrehbänke, Radsatzbänke, Kurbelzapfendrehbank.

Leistung neuerer Radsatzbänke: Größte Schnittgeschwindigkeit ~ 12 bis 16 m/min. Anzahl der täglich abgedrehten Wagenradsätze 6 bis 9 bis 13 Stück. Drehzeit für einen Radsatz je nach Bauart 25 bis 60 min; Zeit zum Auf- und Abbringen 13 bis 20 min.

Nahe der Dreherei, wegen des Geräusches in besonderem [Raum übrige **Räderwerkstatt** mit Luft-(Yeakley-)Hammer oder Walzen zum Befestigen der Sprengringe; hydraulische Räderpresse. Anwärmen der Radreifen zum Warmaufziehen mit Generatorgasheizung***) oder mit Leuchtgas-Luftgemisch.

Zum Einsetzen der Achsen mit Radsternen in die Radreifen meist Drehkran, seltener Laufkran.

8. Schmiede hoch und luftig zu bauen; Höhe bis Dachbinderauflager 5 bis 7,5 m. Mit Rücksicht auf Rauchbelästigung, Feuersgefahr in besonderem Gebäude gemeinsam für Lokomotiv- und Wagenausbesserung.

Auf etwa 30 Arbeiter ein Feuer, das einschl. des Raumes für Dampfhämmer, Pressen u. dgl. 40 bis 60 qm Fläche erfordert. Für Federschmiede etwa 100 bis 150 qm einschl. des Raumes für Federbad und Prüfmaschine.

Rauchabführung der Einzelfeuer an den Wänden durch gemauerte, in der Mitte meist durch eiserne Schornsteine; gemeinsame Rauchabführung ist empfehlenswert; sie bedingt zwar größere Herstellungskosten, gewährleistet dafür eine reinere Luft in der Werkstatt und für die Umgebung keine Rauchbelästigung.

Ambosse etwa 100 bis 150 kg schwer, 760 mm über Fußboden im Abstand von mindestens 2,5 m voneinander.

Drehkrane mit Laufkatze, seltener Laufkrane für schwere Stücke vom Glühofen oder Feuer zum Dampfhämmer oder der hydraulischen Presse; meist mehrere Feuer bedienend.

Kupferschmiede oft mit **Heizrohrwerkstatt** vereinigt. Erstere mit Gas- und Windleitung zum Lüten sowie mit Rohrbiegepresse und Werkbänken ausstatten; gute Lüftung erforderlich; letztere erhält Reinigungsmaschinen mit Abstechsupporten, Einrichtungen zum Stauchen, Aufweiten, Schweißen und Prüfen der Rohre und zur Reinigung der Rohrenden.

9. Gelbgießerei. Raumbedarf etwa 60 bis 75 qm für jeden Tiegelofen; davon für die Trocknerei etwa 6 bis 12 qm; für mittlere Werkstätten

*) Stockert III S. 16. **) E. T. d. G., Abschn. Werkstätten S. 759 u. f.

***) Z. d. V. d. I. 1906 S. 1851; Gl A. 1910 I. S. 103.

2 bis 3, für größere 3 bis 5 Tiegelöfen; mit 2 Öfen und einmaligem Schmelzen täglich ~ 300 kg Gelbgufs bei 5 Formern und 2 Handlangern; **Öfen** mit natürlichem Zug; neuerdings mit Unterwind betrieben (Piat-Baumann). Für Weissmetall auch Gasöfen. Aus alten Lagern Weissmetall nicht ausmeißeln oder -fräsen, sondern Ausschmelzen im Weissmetallbade wirtschaftlicher.

Die Vereinigung mehrerer kleiner Gelbgießereien zu einer in einer grossen Werkstatt ist empfehlenswert.

An die Gießerei müssen sich Räume zur Unterbringung der Formkasten, des Formsandes und Schmelzkoks anschliessen. Modellschuppen in nicht zu grosser Entfernung.

10. Eisengießerei nicht immer vorhanden. 400 qm genügen bei etwa 20 Formern für Herstellung von täglich 4500 bis 5000 kg Gufs.

11. Stellmacherei und Tischlerei. Für jeden Stellmacher und Tischler eine Hobelbank (etwa $2,5 \times 1,1$ m), ausserdem die möglichst von unten anzutreibenden Holzbearbeitungsmaschinen: Kreissäge, Bandsäge, Hobel- und Kehlmaschine, Abrichtmaschine, Fräse, Holzdrehbank, Zapfenschneidmaschine, Holzstemmaschine, Bohrmaschine, Sägenfeilmachine, Leimkocheinrichtungen; Dampfkammer und Wärmeinrichtungen usw. zum Biegen und Furnieren der Hölzer. Zwischen den Werkzeugmaschinen reichlich Raum für die Beförderung und Stapelung der zu bearbeitenden Hölzer. Für Feintischlerei mit Rücksicht auf die Politurarbeiten besonderer Raum; von den Holzbearbeitungsmaschinen werden zweckmässig die Späne durch eine Späneabsaugung entfernt, die das Stauben verhindert und gleichzeitig eine gute Lüftung bewirkt. Räume feuersicher von anderen trennen. In grösseren Werkstätten Holztrockenanstalt.

12. Lackiererei möglichst abgeschlossen, staub- und rufsfrei; gut erleuchtet und gleichmässig geheizt (Dampfheizung). Raum für etwa $\frac{1}{40}$ der zugewiesenen Personenwagen, $\frac{1}{300}$ der zugewiesenen Güterwagen und $\frac{1}{70}$ der zugewiesenen Lokomotiven. Gleisentfernung 5,5 bis 6,0 m; mindestens jedes zweite Gleis mit Grube von ~ 500 mm Tiefe. Untertrennung in verschiedene Abteilungen mit Rücksicht auf die verschiedenen Arbeitsausführungen (Schleifen, Ueberziehen usw.) zweckmässig. Innere Schiebebühne, um Öffnen vieler Tore beim Ein- oder Aussetzen der Fahrzeuge zu vermeiden. Gute Sicherung gegen Feuergefahr. Firnisküche nur bei grossen Anlagen (feuersicher).

13. Sattler- und Tapeziererwerkstatt bei zweistöckigen Gebäuden in dem oberen Geschoss. Nähe der Lackiererei erwünscht; Raum etwa $\frac{1}{5}$ derselben, bei Wagendeckenausbesserung entsprechend grösser. Bei Personenwagenausbesserung sind Wascheinrichtungen für Gardinen vorzusehen.

14. Metallputzerei, Klempnerei (mit Stockscheren, Tafel- und Kreisscheren, Biege- und Falzmaschine, Lötteinrichtungen usw.) und **Glaseri** in besonderen Räumen.

15. Abkocherei zum Reinigen der Einzelteile von Oel und Schmutz; zweckmässig in geschlossenen Räumen; Kran mit Laufkatze oder Drehkran zum Einbringen der Teile in die reichlich zu bemessenden, abschliessbaren, mit Dampf geheizten Behälter. Fahrbare Abkochbehälter für ganze Drehgestelle*) und grössere Teile. Ausser Anschluss an

*) Stockert III S. 12.

Kesselhaus Dampfanschluss an eingehende oder angeheizte Lokomotiven.

16. Werkzeugmacherei und Werkzeugausgabe. Anfertigung und Wiederherstellung der besseren Werkzeuge (Spiralbohrer, Gewindebohrer, Fräser usw.). Einrichtungen: Universaldrehbänke, Fräs- und Bohrmaschinen, Feilbänke, Schmiedefeuer, Härteöfen und -bäder. Hiermit oft verbunden Lager und Ausgabe der wertvollen Werkzeuge und Meßvorrichtungen, wie Gewindebohrer, Reibahlen, Lehren usw.

17. Zur Unterhaltung der maschinellen und elektrischen Anlagen auf den Bahnhöfen des Werkstättenbezirks (Drehscheiben, Schiebebühnen, Wagen, Krane, Wasserstationen, elektrische und sonstige Motoren) kleine Sonderwerkstatt mit Lager von Ersatzstücken zweckmäßig.

18. Weichenwerkstatt nur bei einzelnen Werkstätten;*) große Hallen mit Laufkran und Gleisanschluss. Beförderung der einzelnen Schienen u. a. durch auf Ständern liegende Laufrollen. Weichenzungenhobel- oder Fräsmaschinen, Schienenrichtmaschine, Knick- und Biegemaschine, Drehzapfen-Fräsmaschine, Blechwalze, Kaltsäge, Lochstanze mit Schere, Bohrmaschinen, Drehbänke, Schleifsteine, Werkbänke und Schmiedefeuer. Reichliche Lager und Platz für Zusammenbau vorsehen. Raumbedarf 150 bis 200 qm für Werkzeugmaschinen; ebensoviel bedeckter Raum für Zusammenbau. Kreuzungsweichen im Freien unter Schutzdächern.

19. Werkstätten für elektrische Bahnen ähnlich Personenwagenwerkstätten, aber mit Einrichtungen zum Wechseln der Drehgestelle, Herausnehmen der Anker, Aufbringen und Drehen der Kollektoren, Wickelmaschinen, Trockeneinrichtungen für Spulen, elektrische Prüf- und Meßeinrichtungen.

20. Lehrlingswerkstatt: ältere Jahrgänge arbeiten zur Ausbildung in den verschiedenen Werkeabteilungen; die jüngeren in besonderer Werkstatt an Schraubstöcken. Kleine Drehbänke, Bohrmaschinen, Schmiedefeuer, Blechschere, Lochstanze, Schleifsteine erforderlich.

21. Magazine möglichst nahe den Werkstättenabteilungen, daher außer Hauptmagazin meist besonderes Holzmagazin (nahe der Tischlerei) und Eisenmagazin (nahe der Schmiede). Hauptmagazin außer für Eisenbahnauch für Straßensfahrzeuge leicht erreichbar. Auf 1 Werkstättenarbeiter sind 1 bis 1,5 qm überdeckte Grundfläche und 3 bis 6 qm Hofraum nötig. Holzschuppen möglichst frei und (wegen Feuersgefahr) Längsseite senkrecht zur herrschenden Windrichtung. Um kleines Holzlager zu halten, häufig Holztrockenanlage ausgeführt.

Magazingebäude mehrstöckig. Teilung durch Brandmauern. Wertvolle Baustoffe unter Verschluss. Geschosse untereinander durch Aufzug verbunden. Öle (mit Pumpen und Rohrleitungen meist besonderer Ausgabe zugeführt), Fettwaren u. dgl. meist im Kellergeschoss, Petroleum stets in besonderen, feuersicheren Räumen (feuerpolizeiliche Vorschriften!) In Amerika Oellagerung in Behältern unter Luftdruck, so daß bequeme oberirdische Entnahme durch Zapfstellen. Sehr feuersicher ist Lagerung nach Verfahren Martini u. Heinecke unter Kohlensäure.

Zur Lagerung der Kohlen für Kesselhaus, Schmiede und Lokomotivfeuerung Bansen mit Gleisanschluss. Außerdem Bansen mit solchem für

*) Beispiel s. E. d. G. Abschn. Werkstätten.

Altmaterial, auch für Straßenfuhrwerk erreichbar (getrennt nach den einzelnen und besonders auch nach brauchbaren und wertlosen Stoffen).

Für die Schnellausbesserungen sind kleine Lagerräume für Aus-
hülfssteile und Arbeitsschuppen mit kleinen Hilfsmaschinen und Schmiede-
feuern in der Nähe der hierzu bestimmten Gleise zweckmäßig.

Größere Werkstättenanlagen erhalten besondere Lagerräume für selten
benötigte Ersatzteile (Zylinder u. dgl.), außerdem Einrichtungen
zur Prüfung der Baustoffe, Kohlenprüfanlage usf.

22. Verwaltungsgebäude (meist Dienstwohnungen enthaltend) mög-
lichst nahe am Eingang der Werkstatt mit Straßenzugang. In den
einzelnen Werkstattsteilungen Räume für Werkmeister und Werkführer.

23. Wohlfahrtseinrichtungen. Waschröge (für kaltes und warmes
Wasser), Kleiderständer, Kleiderschränke, oft besondere Wasch- und
Umkleideräume; Aborte so, daß nur kurze Wege zurückzulegen (für je
25 Arbeiter 1 Sitz); Verbandkasten und Tragkorb beim Pfortnerhause,
u. Umst. besonderes Verbandzimmer. Speisehalle (mit Eingang außerhalb
der Werkstatt). Einrichtungen zur Herstellung von kohlensaurem Wasser,
Limonade, Kaffee usw. Badeeinrichtung. Ueberdeckte Fahrradstände am
Eingang. Arbeiter- und Beamtenwohnhäuser (Kolonien) bei Werkstätten
auf dem Lande oder Wohnungsmangel in der Nähe; zum Schutz der
Werkstätten gegen Feuersgefahr und zur Begleitung der Hilfszüge müssen
eine Anzahl Arbeiter leicht erreichbar sein.

B. ZAHNRADBAHNEN.*)

Bahnen mit glatter Mittelschiene, welche aber nur in wenigen Ausführungen vorhanden sind, bilden den Uebergang zwischen Reibungs- und Zahnradbahnen. An die Mittelschiene werden liegende, von besonderen Zylindern angetriebene Räderpaare durch Federn angepreßt (Fell); oder die Bewegung geschieht durch Ketten, das Anpressen durch nach der Steigung regulierten Luftdruck (Hanscotte).**) Die Mittelschiene, angewendet bei Steigungen von 50 bis 90 vT (max 120 vT), ist in Abständen von 0,6 bis 1 m auf Stühlen, etwa 150 mm über den Schienen gelagert. Die kleinsten Krümmungshalbmesser betragen 40 m. Die Fahrgeschwindigkeit erreicht 12 bis 20 km/st.

Die Wagen erhalten je ein Paar Leiträder und neben den gewöhnlichen Bremsen eine auf die Mittelschienenräder wirkende Bremse.

Bei Straßsenübergängen muß die Mittelschiene unterbrochen werden.

Bahnen mit gezahnter Mittelschiene, reine Zahnradbahnen genannt, wenn die Fortbewegung über die ganze Strecke nur mittels Zahnrades erfolgt; gemischte Zahnrad- und Reibungsbahnen, wenn abwechselnd oder gleichzeitig mit der Arbeit der Zahnräder auch die Reibung einzelner oder aller Tragräder der Lokomotive ausgenutzt wird.

Betriebskosten auf Zahnstange zwei- bis viermal größer als auf gewöhnlichen Bahnen, abhängig von Länge der Zahnstange, Gesamtlänge, Höhenunterschied, Dauer des Betriebes usw.

Bei reinen Dampfzahnradbahnen 2,65 bis 3,25 \mathcal{M} /km, bei gemischten 1 bis 1,45 \mathcal{M} /km, bei elektrischen 0,35 bis 2 \mathcal{M} /km. Kohlenverbrauch für die Zugtonne 15 bis 45 kg, je nach Betriebsart.

Auf 2 bis 5 km Bahnlänge ist eine Lokomotive zu rechnen und für dieselbe gegenüber einer gewöhnlichen Lokomotive eine jährliche Mehrausgabe für Unterhalt anzusetzen von 700 bis 900 \mathcal{M} /km.

Anlagekosten. Durchschnittspreis für Lokomotiven 2 \mathcal{M} /kg; nicht gut bestimmbar wegen Schwankungen der Materialpreise. Elektrische Lokomotiven kosten das Stück 28 000 bis 45 000 \mathcal{M} , Personenwagen 6000 bis 10 000 \mathcal{M} , Güterwagen 2000 bis 3500 \mathcal{M} .

Kosten des Rollmaterials 19 000 bis 70 000 \mathcal{M} /km.

Gesamtkosten 110 000 bis 450 000 \mathcal{M} /km; ausnahmsweise bis 1 Mill. \mathcal{M} (Jungfraubahn).

I. Reine Zahnradbahnen***)

meist nur für Sommerbetrieb und Personenbeförderung, haben durchgehende Zahnstange. Steigung ≤ 200 bis 250 vT. (Ausnahme: Mount

*) Vrgl. H. d. I. W., V. Teil Bd. 8; Eisenbahntechnik der Gegenwart Bd. IV; Lévy-Lambert, Les Ch. d. f. à crémaillère.

**) Z. d. V. d. I. 1907 S. 1852; Rev. gén. Ch. 1907 S. 151.

***) Vrgl. Strub, Die Zahnradbahnen der Schweiz bis 1900.

Washington 370 vT, Corcovado 300 vT, Pilatusbahn 480 vT.) Grz. § 21¹ gestattet höchstens 250 vT.

Die Lokomotive ist immer auf der Talseite und schiebt einen bis drei mit ihr nicht gekuppelte Wagen.

II. Gemischte Zahnrad- und Reibungsbahnen

mit durchgehendem Reibungsgleise, in welches einzelne Zahnstangenrampen eingelegt sind. Bei starkem Verkehr werden von 40 bis 50 vT Steigung an Zahnstangen verwendet (ausnahmsweise schon von 25 vT an). Die Züge werden geschoben oder gezogen, letzteres zur Verminderung der Widerstände bei langen Zügen und größerer Fahrgeschwindigkeit. Obere Steigungsgrenze 150 vT. Grz. § 21¹ gestattet nur 100 vT, wenn Hauptbahnfahrzeuge auf eigenen Rädern übergehen sollen.

Bei elektrischem Betrieb und mehr als 70 vT Bremszahnstange eingelegt (Triest-Opčina).

Auf kleinen Steigungen kann eine Reibungslokomotive an der Zugspitze stehen, während die Zahnradmaschine schiebt; auch können mehrere Zahnradmaschinen im gleichen Zuge Verwendung finden.

Für Vollbahnen ist eine Schiebekraft auf die Puffer von rd. 10 t zulässig, d. h. auf Steigungen von 40 bis 60 vT Zuglasten von 220 bis 150 t. Sind durchgehende Bremsen vorhanden, so dürfen die talwärts gehenden Züge schwerer sein als die bergwärts fahrenden. Bei kleinen Steigungen dürfen auch Güterwagen von Vollbahnen befördert werden.

III. Streckenbau.

1. Zahnstange und Zahnrad.

a) **Allgemeines.** Durchweg Evolventenverzahnung, weil diese auch bei verschieden tiefem Zahneingriff (infolge der Radreifen- und Schienenabnutzung sowie des Federspieles) immer richtiges Arbeiten der Zähne ergibt. Die Stangenzähne haben dementsprechend ebene Flächen. Reibung zwischen Rad und Zahnstange 0,01 bis 0,02 des Zahndruckes.

Grz. § 49³. Die Zahnräder dürfen bei reinen Zahnstangenbahnen auch unter, bei Reibungs- und Zahnstangenbahnen dagegen nur bis 15 mm über Schienenoberkante herreichen. Für vollspurige Lokomotiven, die auf Zahnstangenbahnen übergehen sollen, ist die untere Umgrenzung nach Bl. IV, Abb. 2 einzuschränken.

Die Zahnstangen erhalten bisweilen zur Aufnahme des Schubes angelenigte Γ-Stücke, oder ihre Tragstühle Entlastungsflügel.

Grz. § 82. In Zahnstangenstrecken von mehr als 100 vT Neigung ist eine Längsverbinding der Schwellen neben den Schienen oder eine andere unverrückbare Verbindung mit den Schwellen zu empfehlen.

Behufs freien Weichendurchganges werden die Zahnstangen über die Laufschiene erhöht bzw. die **Triebzahnräder** höher gelagert als die Tragräder. Wegen der Radabnutzung bisweilen hohe Zähne ausgeführt, die dann gleichzeitig mit den Radreifen abgedreht werden; oder es wird bei vorgeschrittener Reifenabnutzung der Zahnkranz gegen einen um einen Zahn kleineren vertauscht. Als Zahnradmaterial wird Tiegelsstahl von 75 bis 85 kg/qmm Festigkeit und 15 bis 12 vH Dehnung

verwendet; für Bremszahnäder Martinstahl oder Stahlgufs. Die Zähne sind als Körper gleicher Festigkeit zu berechnen. Durch Umkehren der Zahnkränze oder der Achsen sind beide Zahnflanken benutzbar. Einem zurückgelegten Wege von 7500 km entspricht eine Zahnabnutzung von rd. 1 mm. Die Zahnäder können bis zur Auswechslung je nach Durchmesser und Beanspruchung 30 000 bis 100 000 km und auch mehr zurücklegen.

Grz. § 42. Bei Zahnstangenbahnen wird eine Zahnteilung von höchstens 100 mm empfohlen. (Trifft für Abtsche Zahnstange nicht zu.)

Die Zahnstangen-**Abnutzung** ist verschwindend klein. Durch Schmierung wird ihre Lebensdauer sowie die der Zahnäder erhöht und die Reibungswiderstände vermindert. Jährliche Ausgaben für Schmierung 100 \mathcal{M} /km.

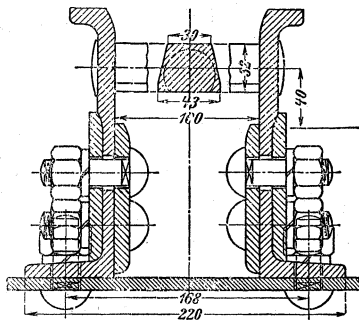
b) **Bauarten.** 1. Die **Leiterzahnstange** (Riggenbach) (Abb. 1) besteht aus Γ -förmigen gleich- oder ungleichschenkligen Wangen und kalt eingenieteten Zähnen von Trapez-Querschnitt und wird in Längen von 3 bis 3,5 m hergestellt. Die Teilung beträgt 80 bis 120 mm, gewöhnlich aber 100 mm; die Neigung der Zahnflanke etwa 75° (1:4).

Die Zahnstange wird entweder unmittelbar oder mittels Stählen auf die Querschwellen geschraubt, so daß sie sich nach dem oberen Ende hin ausdehnen kann, und an den Stößen gelascht. Die Zahnhöhe beträgt 32 bis 46 mm, die Zahnbreite im Teilkreis gemessen 35 bis 55 mm, die Zahnlänge zwischen den Wangen 100 bis 140 mm. Der Zahndruck ist ≥ 60 kg/mm Zahnbreite. Die Zähne sind aus Flußeisen (früher Feinkorn-eisen); die Wangen aus zähem Flußeisen von 4000 bis 4500 kg/qcm Festigkeit und 30 bis 20 vH Dehnung. Die obere Flansche hat 30 bis 50 mm Breite, die untere 50 bis 70 mm; die Stegdicke beträgt 10 bis 15 mm. Die gestanzten Zahnlöcher haben oben und unten eine das Drehen der Zähne verhindernde Fläche. Die Zahnstange wiegt 35 bis 60 kg/m.

Um große Wangenhöhen (normal 110 bis 220 mm) und schwere Zahnstangen zu vermeiden, werden Stühle aus Holz oder Eisen verwendet. Der Zahnkopf liegt 70 bis 90 mm über Schienenoberkante; für Straßenbahnen bündig mit der oberen Wangenflansche, um freien Fuhrwerkverkehr zu gestatten.

Bauart Klose-Bissinger. Eine Leiterzahnstange, deren an die Γ -Eisen angewalzte Rippen ein Drehen der in runden Löchern steckenden, nicht vernieteten Zähne verhindern. Die Endzähne der Stange sind mit Gewinde versehen und dienen als Verbindungs- und Verlaschungsschrauben. Leichtes Auswechslern beschädigter Zähne.

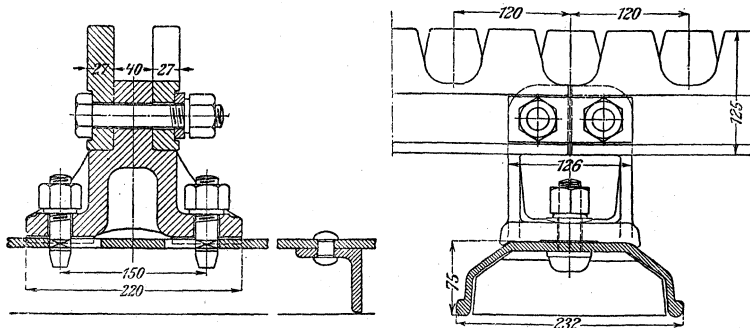
Abb. 1.



Für gewöhnliche Krümmungen werden die Stücke in den Werkstätten gebogen, für enge Bogen besonders hergestellt.

2. Die Zahnstange von **Abt** (Abb. 2 u. 3*) besteht aus zwei oder drei Lamellen mit unter sich um $\frac{1}{2}$ bzw. $\frac{1}{3}$ t versetzten Zähnen und Stößen. Lamellenhöhe 110 bis 125 mm, Dicke 20 bis 32 mm (je nach

Abb. 2 u. 3.



Steigung), Teilung 120 mm, Zahnneigung 1:4. Lamellenlänge meistens 1800 und 2640 mm. Zahnstangengewicht 24 bis 45 kg/m. Als Baustoff wird Flußstahl von mindestens 4800 kg/qcm und wenigstens 20 vH Dehnung verwendet. Zahndruck ≥ 70 kg/mm Stangenbreite. Die Befestigung der in ihrer Mitte festgehaltenen Lamellen erfolgt an Walz- oder Gußeisenstühlen, die sich gegen Wandern mit einer Leiste an die Schwellen stützen und mit letzteren verschraubt sind. Auf jedem Stuhl wird nur ein Strang gestossen. Zwischen den Zahnstäben ist ein 32 bis 40 mm breiter Kanal. Die Zahnstange wird erst auf der Baustelle zusammengesetzt.

Krümmungshalbmesser für Normalbahnen 240 bis 300 m, für 1 m Spur 80 bis 100 m. Engste Bogen 8 m, in Weichen gewöhnlich 60 m.

Die Zahnstangenoberkante wird bei reinen Zahnradbahnen 50 bis 104 mm, bei gemischten 55 bis 70 mm über Schienenoberkante gelagert.

3. Die Zahnstange von **Locher** (Abb. 4 u. 5) besteht aus einer beiderseitig gezahnten Platte, in welche zwei einander gegenüberliegende Zahnräder eingreifen, und die auf einer durchgehenden Langschwelle von Λ -förmigem Querschnitt festgenietet ist. Die Langschwelle ruht mit Stühlen auf den Querschwellen. Die Teilung beträgt 85,7 mm. Die Zahnstange hat eine Festigkeit von 4200 bis 4800 kg/qcm. Da ein Aufsteigen der Zahnräder nie zu befürchten ist, gestattet die Zahnstange jede beliebige Bahnneigung.

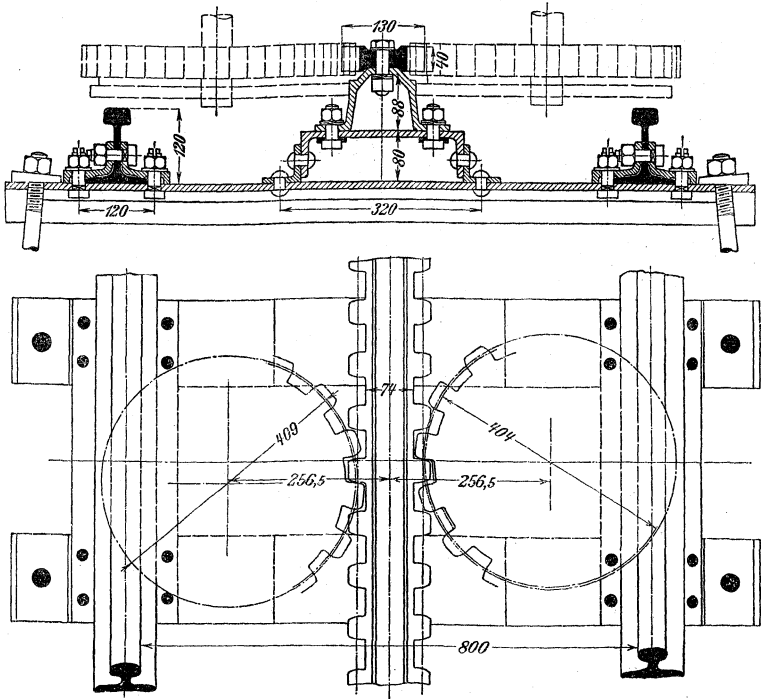
4. **Strubs** Zahnstange** (Abb. 6 u. 7) besteht aus einer breitfüßigen, hohen Schiene mit eingefrästen Zähnen von 100 mm Teilung. Sie wird wie eine gewöhnliche Schiene gebogen, befestigt und gelascht. Das

*) Vrgl. Z. d. V. d. I. 1898 S. 171; Organ 1886, XXIII S. 138.

**) Gießerei Bern der L. v. Rollschon Eisenwerke, Gerlafingen (Schweiz).

untere Ende der 3,5 bis 4 m langen Stücke wird festgehalten, das obere kann sich verschieben. Die Kopfbreite beträgt 60 bis 70 mm, die Neigung der Zahnflanken 1 : 4. Gewicht 34 bis 44 kg/m ohne

Abb. 4 und 5

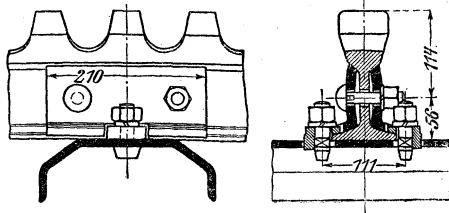


Kleinzeug. Baustoff der Stange weicher Stahl von 5000 bis 5700 kg/qcm und 20 vH Dehnung. Der Stangenkopf gibt den Sicherheitszangen, welche jedoch nie zum Bremsen verwendet werden können, gute Führung.

Die 170 oder 190 mm hohe Zahnstange wird oft auf schmiedeisenen geprefsten Sätteln gelagert.

5. Die „Kletterzahnstange“ von Peter

Abb. 6 und 7.



nach Abb. 8 ist eine Vereinigung der beiden letztgenannten Zahnstangen, eignet sich für beliebige Steigung und gestattet gemischten Betrieb.

c) Zahnstangeneinfahrten (R. Abt) (Abb. 9)*

werden beim Uebergang von Reibungs- zur Zahnstangenstrecke in etwa 2 bis 6 vH Steigung eingebaut. Spitze um Zuglänge von der Steilrampe entfernt und durch einen Uebergangsbogen von 1000 bis 2000 m Halbmesser mit ihr verbunden. Ein 2 bis 3 m langes Zahnstangenstück mit um 2 bis 4 mm zu großer oder zu kleiner Teilung und eingangs verkleinerter Zahnhöhe ist gelenkartig an die Zahnstange angeschlossen und federnd gelagert. Leiterzahnstangen erhalten Einfahrtstücke mit runden Zähnen und darauf drehbaren Rohrstücken.

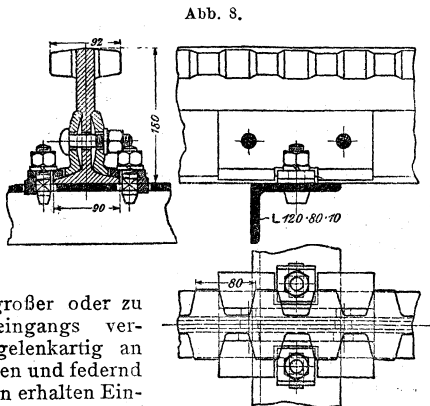


Abb. 9.



Grz. § 104. Die Geschwindigkeit soll vermindert werden bei der Fahrt: h) auf Zahnstangenbahnen bei der Einfahrt in die Zahnstange.

Preis der Zahnstange mit Stühlen 25 bis 33 \mathcal{M} /lfd. m.

2. Oberbau.

Als **Laufschienen** sind gewöhnliche Breitfußschienen von kräftigem Profil mit 16 bis 40 kg/m Gewicht zu verwenden. Schienenhöhe 100 bis 130 mm; Schienenlänge drei- bis fünffache Zahnstangenlänge (10 bis 12 m). Entlastung der Schrauben durch an die Schienen genietete Winkelstücke. Befestigung auf den Schwellen und Verlaschung wie bei Normalbahnen. Klemmplättchen mit verschiedenen Stollendicken. Schienen bei reinen Zahnradbahnen nicht durch Bremsung abgenutzt.

Schwellen. Meist flusseiserne Querschwellen (12 bis 20 kg/m), in 0,75 bis 1,0 m (normal 0,9 m) Abstand verlegt. Holzschwellen oder verlaschte \perp -Eisen nur bei älteren Bahnen als Längsverband der Querschwellen.

Grz. § 106. Bei Zahnstangenstrecken sind eiserne Querschwellen den Holzschwellen vorzuziehen.

*) Organ 1886, XXIII S. 138.

Bahnbettung. Schotterbett von mindestens 300 mm Stärke, bei größeren Steigungen Steinbankette.

Grz. § 31. Bei Zahnstangenstrecken soll die Höhe der Bahnbettung unter Schwellenunterkante mindestens 200 mm betragen. Grz. § 32 . . . Besonders bei Zahnstangenbahnen soll nur eine Bettung, die nicht zu Staubbildung neigt, zugelassen werden.

Als **Stützpunkte** gegen Abwärtswandern werden in 80 bis 200 m Abstand Schienenabschnitte einbetoniert.

Spurweite. Die vorhandenen Bahnen zeigen alle Spurweiten von 670 bis 1676 mm; reine Zahnradbahnen werden meistens mit 1000 mm Spur gebaut. Fast alle Zahnradbahnen sind eingleisig mit Ausweichstellen auf den Stationen, wo geringes Gefälle vorhanden ist.

Die **Spurerweiterung** ist etwas kleiner zu halten als für gewöhnliche Bahnen; sie beträgt nach R. Abt für

$R = 500$ m	$s = 0$ mm	. . . . . (1)
$R = 500$ bis 350 m	$s = 7$ mm	. . . . . (2)
$R = 349$ bis 250 m	$s = 14$ mm	. . . . . (3)
$R < 250$ m	$s = 21$ mm	. . . . . (4)

dabei gilt

- (2) nur für die innere Schiene,
- (3) für beide Schienen mit je 7 mm,
- (4) für innere Schiene 14 mm, für die äußere Schiene 7 mm.

Die Zahnstange bleibt in der Bahnachse. Das seitliche Spiel der Räder beträgt ± 29 mm für Abtsche, ± 12 mm für Leiterzahnstangen.

Grz. § 24. Die Spurerweiterung in Krümmungen von Zahnstangenbahnen ist nur am inneren Schienenstrange anzuordnen und soll 14 mm nicht überschreiten, um einen genügenden Abstand zwischen den Seitenflächen der Zahnräder und Zahnstangen zu sichern.

Bei schmalen Spurrinnen ist keine Spurerweiterung anzuwenden.

Die **Ueberhöhung** h der äußeren Schiene erfolgt nach den für Reibungsbahnen geltenden Normen. Nach R. Abt beträgt die Ueberhöhung für Bahnen mit Normalspur (s. S. 774)

90 mm für $R = 150$ m	25 mm für $R = 400$ m
75 „ „ $R = 200$ „	10 „ „ $R = 500$ „
50 „ „ $R = 300$ „	

Für Schmalspurbahnen ist h dem Schienenabstande entsprechend zu vermindern. Ausnahmsweise für Meterspur und $R = 30$ m $h = 60$ bis 180 mm. Reine Zahnradbahnen mit $h = 30$ bis 40 mm.

Uebergangskurven (Gefällausrundungen) für Normalspurbahnen mit $R = 1600$ bis 2000 m, für Schmalspurbahnen mit $R = 300$ bis 1000 m. Bei letzteren sind konvexe Gefällbrüche mit $R = 300$ bis 500 m, konkave mit $R \geq 300$ m auszuführen und die Zahnstange genügend weit in das kleinere Gefälle zu legen.

3. Schiebebühnen und Weichen.

Bei reinen Zahnradbahnen nur ausnahmsweise senkrecht zur Bahnachse bewegliche Schiebebühnen (Pilatusbahn). Weichen in Stationen oder geringe Steigungen, bei gemischten Bahnen in die Reibungsstrecken verlegt.

Bei älteren Leiterzahnstangenbahnen ist die Zahnstange beim Uebergang über die Laufschiene unterbrochen, neuere Ausführungen haben eine bewegliche gezahnte Lamelle.

Abtsche Weichen haben nur einen Zahnstrang, dessen beweglichen Stücke mit den Laufschienezungen gleichzeitig umgestellt werden

Abb. 10.

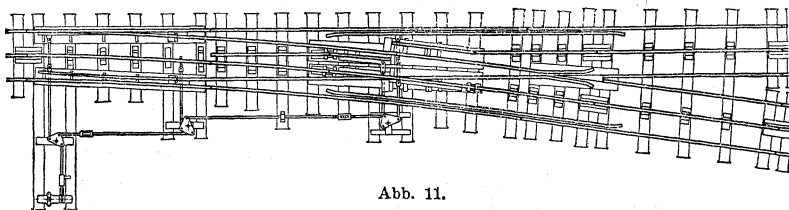
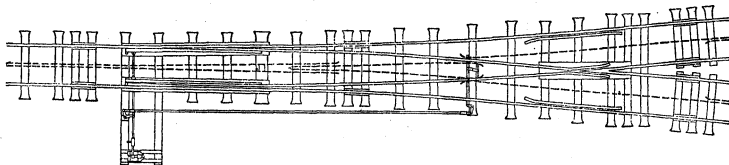


Abb. 11.

(Abb. 10), die Strubsche Weiche ist ihnen nachgebildet (Abb. 11). Abtsche Weichen an einigen Bahnen aufschneidbar eingerichtet.

Grz. § 32³. Auf Bahnen mit streckenweisem Zahnradbetriebe sind Zahnstangenweichen tunlichst zu vermeiden.

Grz. § 34². Bei Zahnstangenbahnen sind Schiebebühnen auch im durchgehenden Hauptgleise zulässig, es sind jedoch Sicherheitsmaßnahmen zu treffen.

Bei gemischten Bahnen am oberen Ende der Steilrampe zweckmäßig ein Sandgleis, in welches entlaufene Wagen gewiesen werden.

4. Wegübergänge.

Raum zwischen Zahnstange und Schienen mit Bohlen oder Steinpflaster eingedeckt. Für gute Entwässerung und Reinigung (Kanal mit Einsteigschacht unter der Zahnstange) ist zu sorgen.

IV. Bahnhöfe.

Grz. § 36. Hochbauten können auf das geringste Maß eingeschränkt werden.

Grz. § 28⁴. Bei Bahnen, deren sämtliche Fahrzeuge bremsbar eingerichtet sind — wie bei Zahnstangenbahnen —, können auch die Endstationen in eine stärkere Neigung verlegt werden.

Grz. § 28². Bei elektrisch betriebenen Bahnen mit Stromzuführung durch dritte Schiene sind Vorkehrungen gegen Verletzungen durch den elektrischen Strom zu treffen.

V. Fahrzeuge.

1. Dampflokomotiven.

a) **Allgemeines.** An die Dampfzahnradlokomotiven werden, soweit zutreffende Verhältnisse bestehen, dieselben Anforderungen gestellt wie an Reibungslokomotiven, außerdem die folgenden:

1. Wenn zwecks Sicherung eines unveränderlichen Zahnneingriffes die Abfederung steif gemacht oder ganz weggelassen wird, so muß durch andere Einrichtungen (Ausgleichsheel) dafür gesorgt werden, daß auch bei unebenem Gleise eine richtige Radlastverteilung gewährleistet wird.

2. Die Lokomotiven der reinen Zahnradbahnen sollen in der Regel folgende Bremsenrichtungen erhalten:

a) Eine Regulierbremse (Luftkompressionsbremse) zur Regelung der Talfahrt. Umgesteuerte Dampfmaschine als Gegendruckbremse, Zylinder als Luftpumpe wirkend. Regelung der Ausströmung der zusammengepreßten Luft. Wärme der Bremsarbeit durch Einspritzwasser vernichtet.

b) Zwei voneinander unabhängige Zahnradbremsen (Klotz- oder Band- oder Bandklotzbremsen), von denen jede für sich allein den vollen Zug auf dem Höchstgefälle anhalten kann.

c) Wenn das Gefälle 120 vT übersteigt, eine Einrichtung, welche, auf eine der beiden Zahnradbremsen wirkend, das Ueberschreiten der höchstzulässigen Fahrgeschwindigkeit selbsttätig verhütet.

d) Für gemischte Reibungs- und Zahnradbahnen die Einrichtung für eine durchgehende selbsttätige Bremse, zudem selbsttätig wirkend, wenn die Lokomotive bei der Bergfahrt an der Spitze des Zuges steht.

Grz. § 47². Für die Züge auf Zahnstangenbahnen werden durchgehende selbsttätige Bremsen empfohlen.

Grz. § 81⁴. Empfohlen, einzelne nicht zu leichte Wagen (Gepäckwagen) mit losen, von Hand bremsbaren Zahnradern zu versehen.

b) **Reine Zahnradlokomotiven:** Antrieb gewöhnlich durch Vorgelegewelle (Abb. 12 u. 13); Uebersetzung 2,5- bis 3fach (Reibungswiderstand 0,02 bis 0,03 des Zahndruckes) oder Zwischenhebel (Abb. 14 u. 15) nach Abtscher Bauart. Die Vorgelegewelle gestattet rascheren Gang der Maschine, somit Steigerung der Kesselleistung, kleinere Triebwerkabmessungen und wirksamere Luftbremse.

Maschinen mit Zwischenhebel sind einfach in der Triebwerkordnung. Durch einarmige Zwischenhebel wird Kurbellänge verringert, Zugkraft erhöht und große Kolbengeschwindigkeit erreicht. Gekuppelte Zahnräder sind elastisch zu lagern oder einzeln anzutreiben.

Antrieb von Efslingen und von v. Steiger (Abb. 16 u. 17) mit auf Zwischenhebel wirkender Schubstange, wodurch Zahndruck gleichmäßig auf beide Triebzahnräder verteilt wird.

Abb. 12.

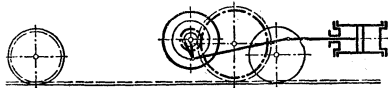
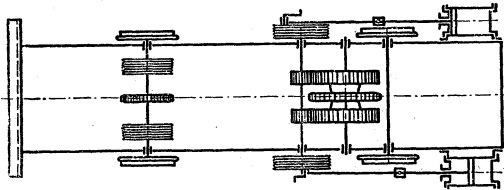


Abb. 13.



Die Anordnung der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur sieht für elektrische Lokomotiven in Schwinghebeln gelagerte Triebzahnräder vor. *) Lagerung der Maschine in drei Punkten

Abb. 14.

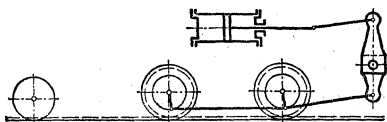


Abb. 15.

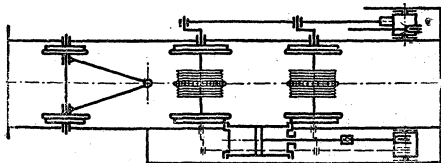


Abb. 16.

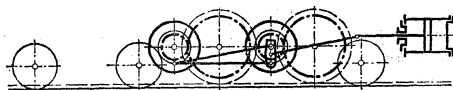
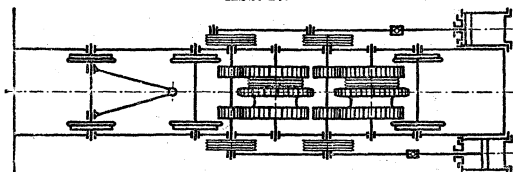


Abb. 17.



materialausnutzung) und großer, direkter Heizfläche auf mittlerer Steigung wagerecht liegend. Feuerbuchsdecke nach hinten geneigt, Wasserstandszeiger in Mitte des Langkessels.

Grz. § 56³. Bei Bahnen mit Neigungen von 60 vT und darüber empfiehlt es sich, die Wasserstandsgläser in der Längsmitte des Langkessels anzubringen.

Bei großer Gegensteigung Drehen der Maschine notwendig. Dampftrockner und Dampfüberhitzer (Bauart Wilhelm Schmidt); letzterer von großem Vorteil. Kesseldruck 12 bis 14 at. Zylinderdurchmesser 220 bis 460 mm. Kolbenhub 360 bis 600 mm. Steuerung nach Heusinger und Joy.

*) Vrgl. Schweiz. Bauztg. 1910 S. 287.

oder auf steifen Blatt- oder Zylinder-Schraubenfedern.

Verbundwirkung nur bei den reinen 4zylinderigen Zahnradmaschinen, Bauart Vauclain der Baldwinwerke, Philadelphia. Die Laufachsen dienen zum Tragen der Maschine sowie der Bremszahnräder und haben, den engen Krümmungen Rücksicht tragend, feste und lose Räder (Stahlgufs- oder Griffin-, seltener Räder mit Bandagen). Lokomotiven mit nur einem Triebzahnrad erhalten meist auf der talwärts liegenden Laufachse ein Bremszahnrad; bei zwei Triebzahnradern wird der untere Teil der Maschine durch eine Bissel-Achse getragen.

Kessel mit kurzen Siederöhren (schlechte Brenn-

Da ein Kuppeln zwischen Maschine und Wagen nicht gestattet ist, erhält erstere meist nur einen eisenbeschlagenen Eichenholzpuffer und einen Kuppelbügel für Wagenbewegungen in den Stationen.

Kohlenvorräte 0,3 bis 0,5 t.

Kohlenverbrauch 12 bis 18 kg/PS in 1 st.

Wasservorräte gewöhnlich klein, deshalb Zwischenstellen zum Wasserfassen notwendig.

Mittleres Alter der Kessel 15,3 Jahre, dasjenige der Lokomotiven 19,5 Jahre. Mittleres Maschinengewicht 16 t.

c) Lokomotiven für gemischten Betrieb:

1. solche, bei denen Zahnräder und Reibungsräder durch Stangen gekuppelt sind (Abb. 18 u. 19). Da die letzteren sich stetig abnutzen, der

Zahnrad Durchmesser aber gleich bleibt, so werden bald verschiedene Wege zurückgelegt, wodurch Reibungsverluste entstehen. Maschinen einfach und leicht;

2. solche mit getrennten Zylindergruppen für Reibung und Zahnrad, Bauart Abt (Abb. 20 u. 21). Zahngetriebe in besonderem Rahmen

Abb. 18.

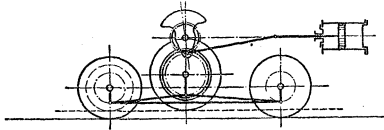


Abb. 19.

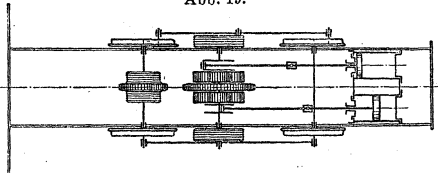


Abb. 20.

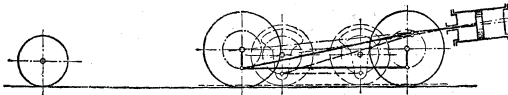
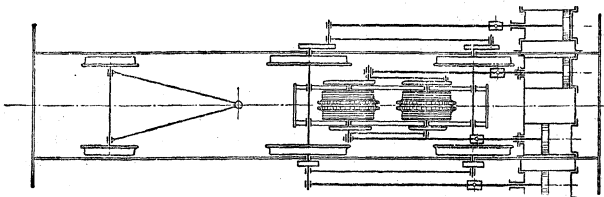


Abb. 21.



an 2 Reibungsachsen aufgehängt; gemeinsame Steuerschraube und gemeinsamer Auspuff der 4 Zylinder. Diese Bauart findet sich namentlich bei den ganz schweren Lokomotiven von 50 bis 80 t Dienstgewicht.

Lokomotiven mit getrennten Mechanismen, mit 2 Paaren außerhalb der Rahmen gelagerten Zylindern und Verbundwirkung, wobei

der Abdampf der Reibungsmaschinen durch Drehschieber den Zahnradzylindern zugeführt und dort ausgenutzt wird, hat die Lokomotivfabrik Winterthur vielfach ausgeführt (Abb. 22 u. 23).

Abb. 22.

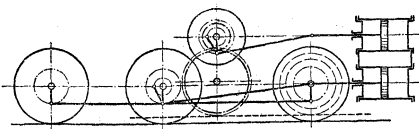
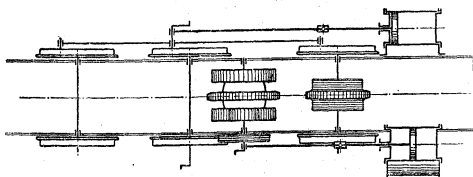


Abb. 23.



Für Verschiebedienst in Bahnhöfen genügt Antrieb einer Reibungsachse durch Ketten, in Verbindung mit Rutschkupplungen.

Durch Räderübersetzung ergibt sich für Verbundwirkung ein Zylinderraumverhältnis von 1 : 2,1 bis 1 : 2,5.

Der großen Reibung der Zahnradmaschine wegen soll deren Kraft nur so weit herangezogen werden, als die

Zugkraft der glatten Triebräder nicht ausreicht. Vorräte an Wasser und Kohlen möglichst nach hinten verlegt, damit sich das Reibungsgewicht wenig ändert.

d) **Berechnung von Heizfläche H und Rostfläche R .** Für reine Zahnradlokomotiven werden gerechnet: für 1 t Maschinengewicht $H = 8$ bis 12,5 qm bzw. auf 1 qm H 2,6 bis 5,8 PS Maschinenleistung.

Für gemischte Zahnrad- und Reibungslokomotiven mit Zwillingswirkung:

auf Reibungsstrecke 1 qm H für 3 bis 4,5 PS,

auf Zahnstangenstrecke 1 qm H für 3,5 bis 5 PS;

bei Verbundwirkung (Bauart Winterthur):

auf Reibungsstrecke 1 qm H für 4 bis 4,5 PS,

auf Zahnstangenstrecke 1 qm H für 5,5 bis 6 PS, bzw.

auf 1 qm R 320 PS.

$$\text{Verhältnis: } \frac{\text{Rostfläche}}{\text{Heizfläche}} = \frac{R}{H} = \frac{1}{60} \text{ bis } \frac{1}{50}.$$

2. Elektrische Lokomotiven und Triebwagen.

a) **Allgemeines.** Lokomotiven oder Motorwagen für reinen und gemischten Betrieb. Dampflokomotiven als Reserve, besonders aber für den Bau vorteilhaft. Eventuell elektrisch betriebener Bauwagen mit aufwickelbarer Kabelleitung.

Elektrischer Betrieb gibt größeren Nutzeffekt als Dampfbetrieb infolge des kleineren Gewichtes für 1 PS. Bei Motorwagenbetrieb können Steigungen bis zu 100 vT ohne Zahnstange überwunden werden, und findet letztere als einfache Lamellenzahnstange nur bei Talfahrt als Bremszahnstange Verwendung.*)

*) Triest-Općina, Elektr. Bahnen 1904 Nr. 14 bis 16.

Motoren zweckmässig im Inneren der Lokomotive, wodurch die Räder nicht unnötig mit ungefederten Gewichten belastet und die Motoren und Gleise geschont werden. Schwerpunkt möglichst bergwärts verlegen und obere Achse um etwa 10 vH mehr belasten als die untere.

b) Reine Zahnradlokomotiven.

1. mit einem Triebzahnrad Z und 2 Laufachsen, von denen gewöhnlich die talwärts liegende ein loses Bremszahnrad B trägt (Abb. 24 u. 25).

Abb. 24 u. 25.

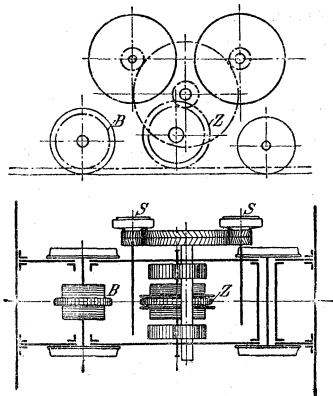
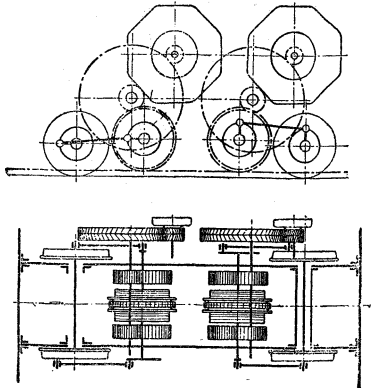


Abb. 28 u. 29.

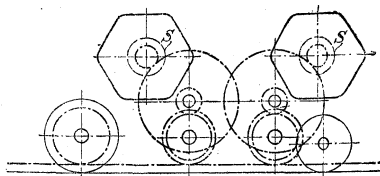


u. 25). Motorenantrieb einseitig, bei Gleichstrom mit Rutschkupplungen ss , auf gemeinsame Vorgelegewelle;

2. mit 2 Triebzahnradern ZZ [event. mit Druckausgleich*)] und 2 Tragachsen;

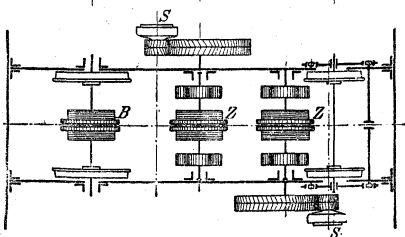
3. wie 2., aber mit losem Bremszahnrad B (Abb. 26 u. 27).

Abb. 26 u. 27.



c) Gemischte Zahnrad- und Reibungslokomotiven.

1. Zahn- und Reibungsräder fest durch Kuppelstangen verbunden, arbeiten wegen verschiedener Radabwicklung ungünstig wie 2-Zylinderlokomotiven (Abb. 28 u. 29).



*) Patente der Lokomotivfabrik Winterthur.

2. Lösbare Reibungskupplung R zum Ausschalten der Reibungsräder auf Steilrampen (Abb. 30 bis 33).*) Maschine als Zahnrad oder als Reibungsmaschine arbeitend, bzw. auch wie 1. Reibungs- und Zahnradachsen durch Stangen gekuppelt, Triebzahnräder lose.

Abb. 30 u. 31.

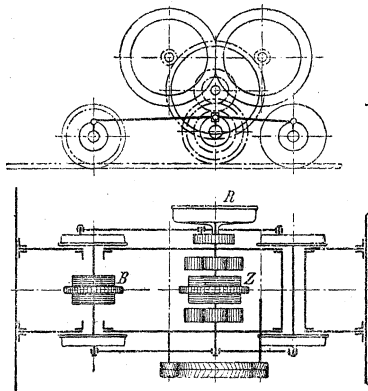
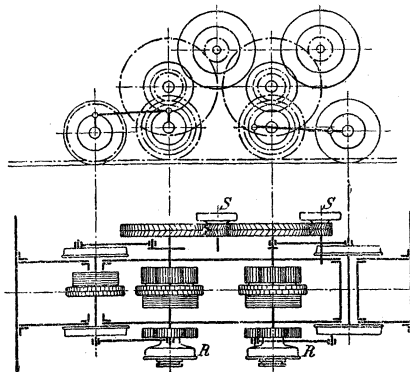


Abb. 32 u. 33.



Reibungsmotor hin verschoben (Abb. 38 u. 39). Auf Steilrampe arbeiten beide Motorarten gleichzeitig. Drehgestell mit kurzen Federn auf den

3. Gesonderte Zahnrad- und Reibungsmotoren, die auf Steilrampen gemeinsam arbeiten. Zwei gesonderte Anlasser (Abb. 34 u. 35).

Normale Umdrehungszahl der Motoren etwa 700 i. 1 min; durch Vorgelege übertragen.

Antriebskolben auf Ring-Rutschkupplung**) gesetzt, welche zu schroffes Anhalten beim Bremsen und bei Kurzschluß, Aenderungen der Winkelgeschwindigkeit der Rotoren und Ungleichheiten in der Zahnstangenteilung mildert. Bei Gleichstrom immer angewendet.

Bei reinen Zahnradlokomotiven wird häufig zur Mehrbelastung der Lokomotive der Wagen an der Maschine aufgehängt (Rowan-Wagen). Die Mehrbelastung beträgt 2 bis 3 t.

d) **Triebwagen** (Automobilwagen).

1. Mit durch Zahnräder gekuppelten Zahn- und Reibungs-Triebrädern (Abb. 36 u. 37), Motoren je zu zweien in einem Drehgestell (Truck) gelagert. Alle vier Motoren parallel oder die Drehgestelle in Serie arbeitend.

2. Mit getrennten Zahnrad- und Reibungsmotoren; Reibungsachsen durch Kuppelstangen verbunden, Drehzapfen nach dem Reibungsmotor hin verschoben (Abb. 38 u. 39). Auf Steilrampe arbeiten beide Motorarten gleichzeitig. Drehgestell mit kurzen Federn auf den

*) Patent der Schweiz. Lokomotivfabrik Winterthur Nr. 16245.

**) Ausführung der Schweiz. Lokomotivfabrik Winterthur.

Achsen, der Wagenkasten mit Federn auf einem Querträger in der Spurfanne ruhend.

e) Stromart und Stromführung.

1. **Gleichstrom** mit Oberleitung und Betriebsspannung von 750 bis 1500 V (für letztere Spannung Motoren in Serie); oder mit dritter Schiene und 500 bis 800 V. Rückleitung durch die Schienen.

2. **Drehstrom**, wenn Kraftwerk weit entfernt liegt. Hochgespannte Ströme von 5000 bis 7000 V an der Verbrauchsstelle umgeformt. Zweipolige Fahrleitung und Schienenrückleitung bei 750 V und 32 bis 50 Wechseln.

Für dritte Schiene Unterbruch bei Wegübergängen und Weichen, Stromführung durch unterirdische Kabel. In Stationen ist die dritte Schiene durch Holzleisten abzudecken.

Grz. § 161. Bei elektrisch betriebenen Bahnen mit Stromzuführung durch dritte Schiene müssen Wegübergänge in Schienenhöhe mindestens in voller Breite von der dritten Schiene freigehalten werden. In und neben dem Gleise beiderseits vom Wegübergange müssen Einrichtungen zum Schutze gegen unbeabsichtigte Berührung der dritten Schiene getroffen werden.

Bei elektrisch betriebenen Bahnen mit Stromzuführung durch dritte Schiene sind an sämtlichen Wegübergängen in Schienenhöhe beiderseits der Bahn Warnungstafeln aufzustellen, die in augenfälliger Weise (rote Schrift, Blitzpfeil) davor warnen, die dritte Schiene zu berühren.

Die Fahrzeuge erhalten an beiden Enden Stromabnehmer (Schleifschuhe), damit der Stromunterbruch bei Wegübergängen vermieden wird.

Gleichstrom gestattet Anwendung von Pufferbatterien, die bei größter Zugkraftleistung Energie in

Abb. 34 u. 35.

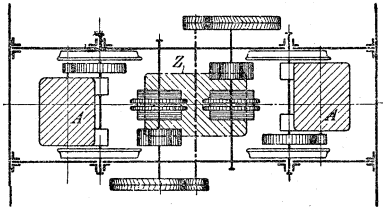
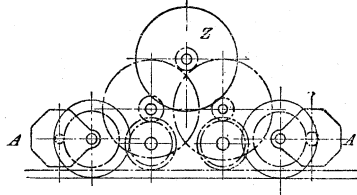


Abb. 36 u. 37.

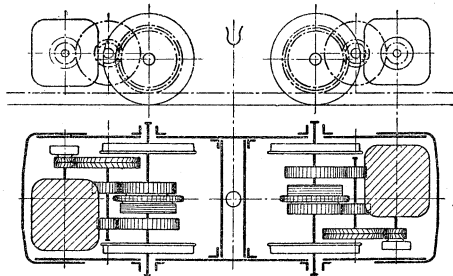
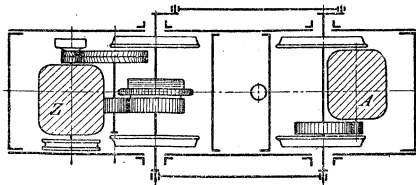
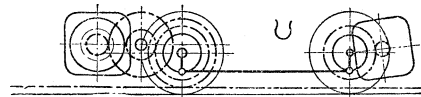


Abb. 38 u. 39.



die Arbeitsleitung abgeben, bei kleinen Leistungen aber geladen werden.

Bei Anwendung von Wasserkraft Aufladen der Batterie während der Nacht. Steigerung der Leistungsfähigkeit (Zugfolge) weniger beeinflusst als bei Drehstrom.

3. Bremsen.

a) Mechanische Bremsen (s. auch S. 877 u. f.).

1. Handbremsen. In verschiedenster Zusammenstellung, einfach oder kombiniert wirkend. Glatte oder geriffelte Klötze oder Bänder (Martinstahl von 40 bis 45 kg, 25 bis 20 vH), letztere mit Holz, Grauguß oder Bronzefutter. Umspannter Winkel meist 270° ; Rillen von 90° (seltener von 60°). Bei elektrischen Fahrzeugen Bremsweg wegen der großen rotierenden Massen nicht zu kurz (10 bis 15 m).

Sperrbremsen für Motorwagen zu empfehlen, da bei Bergfahrt und Stromunterbrechung jeder Rücklauf des Fahrzeuges ausgeschlossen ist.

2. Durchgehende Bremsen, auf 1. wirkend. Bauarten: Hardy, Klose, Heberlin, Westinghouse u. a.

3. Selbsttätige Bremsen. (Für Dampflokomotiven Dampfbremse, die durch einen Geschwindigkeitsregler eingeschaltet wird.) Bei elektrischen Maschinen auf die Motorenachsen wirkende Schraubenfeder- oder Fallgewichtsbremse, die nicht nur bei Geschwindigkeitsüberschreitung (durch Fliehkraftregler), sondern auch vom Maschinisten oder vom Schaffner betätigt werden kann.

Fliehkraftregler bei gemischten Bahnen, die keine reinen Zahnradmotoren haben, auf der Zahnstangenstrecke von Hand oder selbsttätig eingeschaltet.

b) Elektrische Bremsen.

1. Bei Gleichstrom Geschwindigkeitsregelung mittels Nebenschlußbremswiderstand; event. ein Motor als Generator auf den anderen Motor wirkend, Stromabnahme niedergezogen, freie Arbeit in Wärme umgesetzt. Ausreichende Lüftung der Widerstände durch Windflügel mit besonderem Antrieb erforderlich.

2. Bei Drehstrom Regulierung der als Generatoren arbeitenden Motoren (sobald $v > v_1$ des synchronen Ganges), die als Serie-Gleichstrommotoren Wechselstrom (Drehstrom) erzeugen, durch Einschalten von Widerständen in den sekundären Stromkreis. Solange Stations- und Lokomotivmaschine elektrisch verbunden sind, tritt keine Beschleunigung ein; event. Kraftmaschine künstlich belastet (Wasserwiderstand).

c) Elektromagnetische Schienenbremsen an Drehgestellwagen mehrfach angewendet.

4. Einzelteile und Ausrüstung der Lokomotiven.

Bei Zahnradübersetzungen nie Stahlguß auf Stahlguß laufen lassen. Erste Uebersetzung der Zahnradmotoren mit \wedge -Zähnen, deren Teilung meist 6π beträgt. Zweite Uebersetzung mit geraden Zähnen und 9 bis 12π Teilung. Feine Teilung sichert ruhigen Gang.

Antriebskolben aus Tiegelstahl von 75 bis 85 kg Festigkeit und 12 vH Dehnung. Zugehöriges Rad aus geschmiedetem Martinstahl (55 bis 60 kg, 20 vH); Achsen aus Martinstahl (55 bis 60 kg, 20 vH); Stahlgufs-Uebersetzungsräder mit 50 kg Festigkeit und 15 vH Dehnung.

Dichte Blechverschalung, reichliche Fettschmierung.

Rahmenbau aus glatten oder gepreßten Blechen; für kleine Geschwindigkeiten keine Federung notwendig.

Grz. § 613. Zahnradlokomotiven sollen auch mit Bahnräumern für die Zahnräder versehen sein.

Sicherheitsanker. Bei Leiterzahnstange unnötig, Führung durch Zahnstangenwangen; bei Abtscher Zahnstange Anker verschiedener Form, zwischen den Zahnplatten geführt. Strub verwendet Zangen oder an den Bremsscheiben (Stahlgufs von 60 kg und 12 vH) angegossene Führungsränder. Zange möglichst nahe der Bergwärtstragachse, vorteilhaft elastisch gelagert.

Wasserkasten zur Kühlung der Bremsscheiben bei Talfahrt mit Handbremse.

Für gemischte Triebfahrzeuge Sandstreuer mit Hand- oder Luftbetrieb.

Geschwindigkeitsmesser gewöhnlich von der hinteren Tragachse oder von der Vorgelegewelle aus angetrieben.

5. Zugkraft und Leistung.

a) Der **Eigenwiderstand** der Lokomotive beträgt 16 bis 30 kg/t (i. M. 24 kg/t), derjenige der Wagen 4 bis 10 kg/t (i. M. 6 kg/t). Dazu kommen noch Reibungswiderstände des Zahnradtriebes mit rd. 4 vH, Krümmungswiderstände usw. Die Reibung zwischen Rad und Zahnstange beträgt 0,01 bis 0,02, diejenige des Vorgeleges 0,02 bis 0,03 des Zahndruckes.

b) **Zugkraft Z** (in kg) s. a. S. 770. Es bezeichnet:

s den Kolbenhub in cm,

d den Kolbendurchmesser in cm,

p den Kesselüberdruck in atm, $p_m = 0,5$ bis $0,65 p$,

DZ den Durchmesser des Triebzahnrades im Teilkreis in cm, ($Z = 5500$ bis 13000 kg),

DA den Durchmesser der Reibungsräder in cm,

$r : r_1$ die Zahnrad- oder Schwinghebelübersetzung,

V die Betriebsspannung in Volt,

J die Stromstärke in Amp,

V die Fahrgeschwindigkeit in km/st; $v = V : 3,6$ m/sk,

n die minutliche Umdrehungszahl der Triebzahnräder,

φ den Wirkungsgrad = 0,8 bis 0,85 bei doppelter; 0,9 bis 0,92 bei einfacher Uebersetzung u .

N die Maschinenleistung in PS oder Kw. Es ist dann:

1. bei Dampflokomotiven

$$Z = p_m \frac{d^2 l}{D_2} \frac{r}{r_1}. \quad \text{Reine Zahnradlokomotiven.}$$

$$Z = 0,96 p_m \frac{d^2 l}{D_a} + 0,85 p_m \frac{d^2 l}{D_2}. \quad \text{Gemischte Lokomotiven.}$$

2. bei elektrischen Lokomotiven

$$Z = \varphi 194,6 \frac{V \cdot J}{n D_z} \cdot \mu.$$

Die Leistung ist:

$$N = \frac{Z \cdot V}{270} \text{ in PS und } N = \frac{Z \cdot V}{367} \text{ in Kw.}$$

Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 6 bis 12 km/st, je nach der Steigung, im Mittel 7,5 km/st. Eine Dampflokomotive von rd. 16 t Gewicht schiebt auf Steigungen von

25 vH 1 Wagen mit 60 Personen

20 „ 2 „ „ 100 „

15 „ 3 „ „ 150 „

c) Lokomotivgewicht $Q = Nc$ in kg, wenn N in PS.

Werte für c .

	Reine Zahnrad- lokomotiven	Gemischte Lokomotiven		Triebwagen gemischt
		2 Zyl.	4 Zyl.	
Dampfbetrieb . . .	100 bis 110	110 bis 120	120 bis 150	—
Elektrischer Betrieb .	60	70		80

6. Wagen.

Die **Wagen** der eigentlichen, fast ausschließlich dem Touristenverkehr dienenden Zahnradbahnen sind halboffen oder geschlossen, von möglichst geringem Eigengewicht. Sie haben bei reinen Zahnradbahnen gewöhnlich nur eine Klasse. Stufenförmig angeordnete Abteile von 8 bis 12 Plätzen. Kastenbreite 2,1 bis 3 m. Starke Federn wegen sicheren Bremszahnradengriffs. Bremszahnrad lose auf einer Laufachse oder auf besonderer Achse gelagert. Für gemischten Betrieb durchgehende Bremse nach verschiedenen Bauarten. Bei schweren Zügen und $s \geq 80$ vT genügen die Reibungsbremsen.

Auf verschiedenen elektrischen Bahnen ist der Wagen mit seinem unteren Ende pendelnd an der Lokomotive aufgehängt (Bauart Rowan), wodurch die Achsen der Lokomotive Mehrbelastung gegen Aufsteigen der Zahnräder erfahren.

Bei halboffenen Wagen beträgt das Eigengewicht für einen Fahrgast (60) 80 bis 180 kg, bei geschlossenen Wagen 150 bis 250 kg. Für Gewichtsvergleich ist die Wagengrundfläche maßgebend. Bei reinen Dampfzahnradbahnen beträgt das Totalgewicht 0,55 t/qm, bei elektrischen Lokomotiven 1,04 t/qm, bei kombinierten Fahrzeugen 0,65 t/qm.

Zum Umstellen in geringen Steigungen sind die Wagen mit Kuppelhaken versehen, die vom Wagenführer mittels Zug gelüftet werden, sobald in die Steigung eingefahren wird.

Personenwagen mit 40 bis 50 Plätzen; Eigengewicht für einen Platz bei Motorwagen 665 bis 800 kg.

Für die Wagen der Zahnradbahnen gelten, soweit zutreffende Verhältnisse bestehen, dieselben Bestimmungen wie für Wagen von Reibungsbahnen, außerdem die folgenden:

1. Jeder Wagen einer reinen Zahnradbahn muß mit einer Zahnradbremse, bei gemischtem Reibungs- und Zahnradbetrieb mit einer Reibungs- und einer Zahnradbremse versehen sein.

2. Wenn die Lokomotive bei der Bergfahrt an der Spitze des Zuges steht, so müssen sämtliche Wagen für durchgehende automatische Bremsung, sowohl auf Zahnräder als auch auf Reibungsräder wirkend, eingerichtet sein.

Bei großen Zahnradbahnen und Steigungen ≥ 80 vT kommen die gewöhnlichen Personen- und Güterwagen der angrenzenden Bahnen gleicher Spurweite zur Verwendung. Immerhin ist das Vorhandensein einer genügenden Anzahl bedienter Wagenbremsen Vorschrift.

Güterwagen für 5 und 10 t Ladegewicht haben ein Eigengewicht von 3,2 bis 9 t.

Reservematerial. Vollständige Radsätze mit zugehörigen Lager-schalen; Vorgelegewelle mit Zahnradern und Lagern; Zahnräder und Zahnkränze; Bremsklötze und Bremsbänder; Federn zur Motor-aufhängung; Stromabnehmer. Stahl, Eisen und andere Rohstoffe in verschiedener Form.

C. STANDSEILBAHNEN.*)

I. Drahtseile.**)

a. Drahtseile für Grubenseilbahnen.

Draht von 70 bis 180 kg/qmm Bruchfestigkeit; Drahtdurchmesser 1,0 bis 2,0 mm. Rundseile in Albertschlag oder Flachlitzenseile (s. Tabellen I. Bd. S. 892 u. 894). Lebensdauer der Seile bei Anwendung von Anschlußkettchen, bzw. englischen Mitnehmern, bzw. Hanfknoten, bzw. Metallknoten 5, bzw. 4, bzw. $3\frac{1}{3}$, bzw. $2\frac{1}{2}$ Jahre. Für saure Wasser ist Zinkschutz ungenügend, dagegen ausgiebige Schmierung zu empfehlen.

Seilerneuerungskosten etwa 0,2 ϕ /t.

Der kleinste Antriebsseibendurchmesser D mm berechnet sich aus dem Drahtdurchmesser d mm zu $d\omega$ mm.

Werte für ω .

(Angabe der St. Egydyer Eisen- u. Stahl-Ind.-Ges., Wien.)

Seilart	Flußseisen-draht	Flußstahl-draht	Patent-Stahldraht		
Bruchfestigkeit in kg/qmm	60 bis 65	70 bis 80	120 bis 130	150 bis 160	180 bis 190
Förderseile bis zu 6 m					
Seilgeschwindigkeit .	1000		1200	1500	1800
$v > 6$ m „	1200		1500	1800	2000
Bremsbergseile . . .	400		500	600	—
Aufzugseile	300		300	400	500

*) Vgl. H. d. I. W. V. Teil, 8. Bd.; v. Hanffstengel, Förderung von Massengütern; Buhle, Massentransport.

**) Hrabák, Die Drahtseile.

b. Seile für Vergnügungs(Touristen-)bahnen.

Meist nur ein Zugseil; ein zweites Seil als Gewichtsausgleich (Ballast-)seil; oder als Sicherheitsseil bei Bruch des Zugseiles (in Europa selten).

In Betracht kommen runde Litzenseile in Albertschlag, flach- und dreikantlitzige Seile sowie für Wasserlastbahnen feindrätige verschlossene Seile. Drahtstärke 1 bis 3 mm; Drahtzahl 48, 72, 84, 108, 126 und 144. Seildurchmesser für Rundlitzenseile 20 bis 44 mm, für Flachlitzenseile 25 bis 30 mm und für verschlossene Seile 18 bis 35 mm.

Seilgewicht 1,5 bis 6 kg/m; Bruchfestigkeit 70 bis 180 kg/qmm; Sicherheitsgrad 8 bis 16. Lebensdauer der Seile 1 bis 12½ Jahre (s. Tabellen I. Bd. S. 892 u. f.).

Gebrochene Drähte tragen nach viermaliger Litzenschlaglänge wieder voll mit. Die Anwendung eines schwereren Seiles, als die Rechnung ergibt, kann u. a. den Bau einer Drahtseilbahn ermöglichen.

Schmierung der Seile mit Fichtenteer und Talg (10:1). Verschiedene Schmiervorrichtungen.

II. Grubenseilbahnen.

Näheres über Gesamtanordnung und Einzelheiten vgl. II. Bd. S. 576 u. f.

1. Streckenbau.

a) **Oberbau.** Spurweite 450 bis 800 mm. Schienen aus Flusstahl ($l=5$ bis 7 m, $h=60$ bis 80 mm, $p=5$ bis 12 kg/m). Holzschwellen 80×100 bis 120×150 mm) in 0,6 bis 0,8 m Entfernung, imprägniert.

Schienenbefestigung mit Hakennägeln oder Schrauben. Eiserne Schwellen und Klemmplattenbefestigung selten. Krümmungen von 30 bis 40 m Halbmesser, oft 10 m und weniger.

Spurerweiterung 15 bis 20 mm, Schienenüberhöhung $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{30}$ der Spurweite. Zwangschienen. Wendeplatten, da Drehscheiben wegen Verschmutzung nicht anwendbar.

Kreuzung von Ausweichstellen und Unterseil durch selbsttätig sich einstellende Flacheisenzungen, welche das Seil decken.

b) **Weichen.** Es sind zu unterscheiden:

a) Unverstellbare (für Handförderung),

b) Verstellbare.

1. Zungenweichen. Mit Fuß oder eigener Stellvorrichtung u. U. durch Feder oder Gewicht selbsttätig verschoben.

2. Stofsweichen.

3. Kletterweichen (für vorübergehende Abzweigung).

2. Fahrzeuge.

a) **Wagen.** Kastenform so gewählt, daß Streckenquerschnitt gut ausgenutzt ist. Für große, scharfkantige Förderstücke Holzkasten. Wandstärke 25 bis 50 mm, Boden 40 bis 70 mm. Eisenbeschläge, L-Eisen-Eckverbindung. Langhölzer mit Beschlägen als Puffer dienend. Eisenkasten aus 4 bis 6 mm Blech.

Räder meist aus Stahl- oder Hartguß ($D = 250$ bis 450 mm); Radbreite 50 bis 60 mm bzw. 25 bis 30 mm breiter als Schienenkopf. Bei Bremsbergen wegen Ausweichstelle bisweilen Doppelspurkranz.

Achsstand nur 30 bis 80 mm größer als Raddmr.

Räder entweder auf losen Achsen oder auf Zapfen fester Achsen. Für scharfe Krümmungen an jeder Achse ein loses Rad. Gute Schmierung schwierig. Wagenhöhe über Schienenoberkante $0,9$ bis $1,2$ m; Breite $0,6$ bis $0,83$ m; Wagenabstand 15 bis 20 m.

b) **Bremsen.** Hebel mit Holzklotz, der sich selbsttätig vom Rad abhebt.

Handbremse: Druck des Förderers 20 bis 30 kg

Fußbremse: „ „ „ „ 40 „ 60 „

Entleeren der Wagen durch:

1. Neigen bzw. Umkippen (vorwärts oder seitwärts) der Wagen oder der Kasten.
2. Türen in Boden oder Wänden.
3. Umdrehen der ganzen Wagen auf Sturzvorrichtungen (Wippen). (Drehungswinkel etwa 150° .)

Eigengewicht der Wagen etwa 45 bis 55 vH der Ladung.

Ladung für Erz 900 kg

„ „ Kohle 600 „

3. Kraftbedarf.

Es sei

p das Gewicht des leeren Wagens in t,

P „ „ der Ladung in t,

q „ „ des auf den Wagen entfallenden Seilstückes
= Wagenabstand (15 bis 20 m) in kg,

w der Wagenwiderstand = 8 bis 12 bis 20 kg/t ($0,008$ bis $0,012$ bis $0,02$),

α der Neigungswinkel der Bahn,

Z die erforderliche Zugkraft

dann wird für einen leeren bzw. beladenen Wagen auf sölhliher Bahn:

$$Z = (p + q) w \text{ bzw. } z = (p + P + q) w . . . 1)$$

Für geneigte Bahn und aufwärts gehende beladene Wagen

$$Z = (P + p + q) \cdot (\sin \alpha + w \cos \alpha) 2)$$

Für abwärts gehende beladene Wagen

$$Z = (P + p + q) (w \cos \alpha - \sin \alpha) 3)$$

Selbsttätiger Betrieb (Neigung 10 bis 12 vH) ergibt einen Kraftüberschuß

$$U = (P + p + q) (\sin \alpha - w \cos \alpha) 4)$$

In Krümmungen ist Z um 20 bis 30 vH zu vergrößern. Vorteilhaft in Richtung des Vollaufes der Strecke ein Gefälle von $0,5$ bis $0,6$ vH.

III. Vergnügungs-(Touristen-)Bahnen.*)

Die **Baukosten** elektrisch betriebener Bahnen betragen 260 000 bis 1 277 000 \mathcal{M}/km , also durchschnittlich 458 660 \mathcal{M}/km .

1. Betriebsarten.

Fast ausnahmslos mit Doppelbetrieb, d. h. ein Wagen bergwärts, der andere talwärts fahrend, wodurch Schwerkraft des letzteren nutzbringend verwertet wird. Steigungen $S = 6$ bis 70 vH; Höhenunterschied $H = 30$ bis 1400 m. Unerlässlich sind: Zuverlässige Seile und Bremsen, kleine Fahrgeschwindigkeit und einfacher Betrieb.

Fast ausschließlich zwei Bauarten:

1. **Wasserüberlast** des oberen Wagens, Zahnstange und Zahnrad (des abwärts fahrenden Wagens) als Geschwindigkeitsregler und Bremsmittel.

2. **Kraftmaschinen** mit Bremsen (meist in der oberen Station) und an den Keilkopflaufschienen angreifende Wagennotbremse.

2. Linienführung.

Jeder Anlage entspricht **nur ein richtiges Längenprofil**. Dasselbe ist vorhanden, wenn während der ganzen Fahrt die Geschwindigkeit der gleichmäßig belasteten Wagen gleichförmig und die Bremsarbeit gleich null ist (bis jetzt bei keiner Bahn ganz erreicht). Bei kurzen Bahnen spielen die Bahnwiderstände eine Hauptrolle. Die Gleichung der Schnittkurve ergibt eine Parabel.

Für den Längsschnitt AB (Abb. 1) sei:

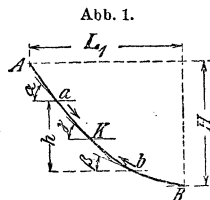
- L_1 die wagerechte Länge,
- \bar{L} „ schiefe gemessene Länge,
- H der Höhenunterschied,
- α, β, γ die Neigungswinkel der Bahn,
- h der Höhenunterschied a, b ,
- p das Seilgewicht in kg/m ,
- $C = 0,008 p L$ die notwendige Kraft zur Erhaltung der Bewegung auf ebener Strecke (auch von den Krümmungen abhängig),
- P das Gewicht des aufwärts fahrenden Wagens in t ,
- P_1 „ Gewicht des abwärts fahrenden Wagens in t ,
- Q der Wasserballast des abwärts fahrenden Wagens in t ,
- Z die Zugkraft des Motors am Seil in kg ,
- w der Wagenwiderstand $= 3 \text{ kg}/t$.

Gleichung des theoretischen Profils für Bahnen mit Lastwasser (nach Vautier)

$$y = \frac{L}{L_1} \left[\frac{(P + P_1 + Q)f + C}{P_1 + Q - P} - \frac{pH}{P + P_1 + Q} \right] x + \frac{(P + P_1 + Q)f + C}{P_1 + Q - P} \cdot \frac{p}{P + P_1 + Q} \left(\frac{L}{L_1} \right)^2 x^2 \dots 5)$$

$$Q = \frac{(P - P_1)H + (P + P_1)Lf + CL}{H - fL}$$

*) Vgl. H. d. I. W. V. Abt. 8. Bd. 2. Aufl.; Lévy-Lambert, Les Ch. d. f. funiculaires; Strub, Drahtseilbahnen der Schweiz; Walloth, Drahtseilbahnen der Schweiz.



$$\sin \gamma = \frac{(P + P_1 + Q)f + C}{P_1 + Q - P} = M \quad \text{und} \quad \frac{p}{P + P_1 + Q} = N$$

gesetzt, und angenommen, daß Teilstrecken auf AB gleich ihren Horizontalprojektionen seien, also auch $L = L_1$, so folgt

$$y = \frac{L}{L_1} (M - NH) x + MN \left(\frac{L}{L_1} \right)^2 x^2 \quad \dots \quad 6)$$

Der begangene Fehler wird dadurch berücksichtigt, daß dem Faktor von x^2 ein Wert von $\frac{H-y}{x^2}$ algebraisch zugezählt wird.

Für Antrieb durch einen Motor lautet Formel 5) (nach Vautier*)

$$y = \frac{L}{L_1} \left[\frac{Z - (P + P_1)w - C}{P - P_1} - \frac{p \cdot H}{P + P_1} \right] x + \frac{Z - (P + P_1)w - C}{P - P_1} \cdot \frac{p}{P + P_1} \cdot \left(\frac{L}{L_1} \right)^2 x^2 \quad \dots \quad 7)$$

Für

$$\frac{Z - (P + P_1)w - C}{P - P_1} = M; \quad \frac{p}{P + P_1} = N$$

ergibt sich der Größtwert von Z zu

$$Z = P \sin \beta - P_1 \sin \alpha \pm p h + (P + P_1) w + C,$$

wobei ph positiv, wenn talwärts fahrender Zug oberhalb, und negativ, wenn unterhalb der Kreuzung.

Das **zusätzliche** Wasserübergewicht zum **Anfahren** ergibt sich, wenn G das Gewicht aller in Bewegung befindlichen Seilrollen, und l den Weg (etwa 50 bis 100 m), welchen der Wagen bis zum Erreichen der Normalgeschwindigkeit v zurücklegen muß, bezeichnen, zu

$$q = \frac{(P + P_1 + Q + p \cdot L + G) v^2}{2 g l \sin \alpha - v^2} \quad \dots \quad 8)$$

Für Bahnen mit Ausgleichseil ist statt pL einzusetzen $2pL$.

Zusatzkraft für Anfahren mit Motor

$$z = \frac{P + p l' + G}{l} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \dots \quad 9)$$

wobei l' die Seillänge zwischen beladenem Wagen und Motor.

Anfahren mit Wasserlast auch durch Einführung eines größeren Gefälles am oberen Ende erreicht, indem die obere Station um

$$h' = \frac{P + P_1 + Q + Lp + G}{2g(P_1 + Q)} v^2 \quad \dots \quad 10)$$

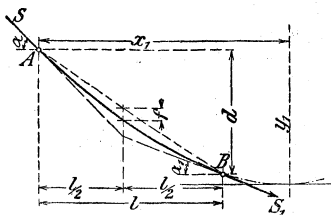
höher gelegt wird (etwa 0,4 bis 0,8 m).

Es kann auch das untere Gefälle verringert oder h' auf die beiden Endstationen verteilt werden (oben +, unten —).

*) Vrgl. A. Vautier, Etude des Chemins de fer funiculaires 1892.

In **Uebergangskurven** darf sich das Seil nicht aus den Rollen heben, deshalb letztere in oder über diejenige Kurve gelegt, welche das Seil bei stärkster Spannung einnimmt.

Abb. 2.



Bezeichnet in Abb. 2

p_1 das Seilgewicht in kg/m Horizontalprojektion

$$= p \left[1 + \frac{1}{8} (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha_1)^2 \right],$$

l die Länge der Uebergangskurve,

S „ Seilspannung in A,

S_1 „ „ „ B,

so lautet die Gleichung der durch AB gehenden Parabel

$$y = (d + 4f) \frac{x}{l} - 4f \frac{x^2}{l^2} \quad \dots \quad 11)$$

$$x_1 = \frac{d + 4f}{8f} \cdot l \quad \text{und} \quad y_1 = \frac{(d + 4f)^2}{16f}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d + 4f}{l}; \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{d - 4f}{l}$$

$$l = \frac{S_1 \cos \alpha_1}{p_1} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_1) = \frac{S \cos \alpha}{p_1} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_1) \quad 12)$$

oder angenähert

$$l = \frac{S}{p} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_1) \quad \dots \quad 12a)$$

$$f = \frac{l}{8} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_1) = \frac{p_1 l^2}{8 S_1 \cos \alpha_1} \quad \dots \quad 13)$$

$$d = \frac{l}{2} (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha_1).$$

3. Streckenbau.

a) **Unterbau.** Erdanschüttungen nur in beschränktem Maße zulässig, größere Dämme durch Brücken (Viadukte) zu ersetzen. Schwellen meist auf zwei in den Baugrund eingetrepten, wagerecht aufgebauten und mit einer Rollschicht parallel zur Bahneigung abgedeckten Mauern, deren Zwischenraum mit Schotter ausgefüllt wird, gelagert; Fugen mit Zementmörtel ausgegossen. Auf jede Schienenlänge (10 m) 2 bis 3 Paar Ankerschrauben. Dem Wandern des Oberbaues durch Steinsätze und Betonklötze (in 80 bis 100 m Abstand) begegnet. Bis etwa zu 33 vH Steigung wird Schotterbettung mit Holz- oder Eisen-schwellen verwendet.

Straßen werden unter- oder überführt, ausnahmsweise Klappbrücken.)*

Fast durchweg Einfriedigung. Zwischen Rollmaterialbegrenzung und Lichtraumprofil 600 mm, so daß in Tunneln die Türen geöffnet

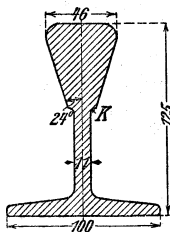
*) Elektr. Bahnen u. Betriebe 1906 S. 574 u. f.

werden können. Tunnel erhalten alle 50 m Nischen. Diensttreppe auf ganze Bahnlänge.

b) **Oberbau.** Möglichst solide gegen Verschiebungen nach unten. Spurweiten von 750 bis 1435 mm, jetzt meist 1000 mm.

Gleisanordnung: 4 Schienen; oben 4 und unten 3 Schienen; 3 Schienen (in der Ausweichstelle 4); 2 Schienen (eingleisig) und mittlere Ausweiche, wobei der äußere, durchgehende Schienenstrang den mit Doppelspurkranz versehenen Wagenrädern als Führung dient (Bauart Abt). Die (symm. oder unsymm.) Ausweiche erhält ein gerades Stück \geq Radstand. Krümmungen der Ausweichen wegen Bremszangendurchfahrt meist nicht unter 300 m Halbmesser.

Abb. 3.



Schienen. Bei eingelegter Zahnstange gewöhnliche oder breitfüßige Vignoles-Schienen, für Wagen mit Zangenbremsen Keilkopfschienen (Abb. 3), Schienenstofs meist schwebend. Keilkopfschienen, jetzt fast ausschließlich angewendet, haben durchschnittl. Höhe von 125 mm, Kopfbreite $44 \div 46$ mm, Fußbreite $90 \div 100$ mm, $p = 23,5$ kg/m (K Laschenkehle).

Zu 10 m Gleis gehören (Angabe der A.-G. Phönix, Ruhrort)

2 Schienen zu 10 m	460,00 kg
4 Laschen zu 0,35 m	11,20 „
8 Laschenbolzen 18×58	2,00 „
8 Klemmplattenbolzen f. Laschen	2,20 „
10 Winkelschwellen zu 22,5 kg	225,00 „
10 Garnituren u. Kleiseisen	21,60 „

10 m Gleis komplett 722,00 kg.

Eine normale Ausweiche hat 85 m Länge (Krümmungen $R = 300$ m).

Zahnstange. Leiterzahnstange, sowie Bauart Abt und Strub (s. S. 953). Zahnstangen-Sicherheitsanker für alle drei Bauarten angewendet, weil das Zahnrad wegen geringer Achsbelastung beim Bremsen leicht aufsteigt.

Schwellen aus Holz (Eiche oder Lärche) oder Eisen. \wedge -Eisen, meist $l = 160$ cm, $b = 20,6$ cm, $h = 6$ cm, $p = 13,4$ kg/m; Γ -Eisen $120/80/9$, $l = 150$ cm, $p = 14$ kg/m. Γ -Schwellen werden fast ausschließlich angewendet, längerer Schenkel als Schienenaufleger.

c) **Seilbau.** Zugseile für Wasserlastbahnen in neuerer Zeit nur verschlossene Seile, die aber für Motorbetrieb nicht anwendbar sind. Außerdem werden verwendet: Rundseile aus 42 bis 144 Drähten sowie flach- und dreikantlitzige Seile (s. a. II. Bd. S. 576).

Die größte Seilspannung darf, einschließlich des Spannungsverlustes auf den Rollen, $\frac{1}{4}$ Bruchbelastung nicht übersteigen, wobei auf die Querschnittsänderung infolge des Gebrauchs Rücksicht zu nehmen ist. Zur Vergrößerung der Seilreibung wird dasselbe mehrmals über die Antriebscheibe geführt, indem Umlenkscheiben verwendet werden. Offene und gekreuzte (∞ -förmige) Umschlingungen.

trischem Betrieb in Antriebsstation: Schalttafel mit Meßinstrumenten, Höchstspannungsausschalter, selbsttätige und Handbremse, Geschwindigkeits- und Streckenzeiger sowie Warnlocke. Beide Stationen erhalten Puffer mit 80 bis 400 mm Rücklauf.

Endstationen mit Warteraum und Einsteighallen verbunden (Wohnung des Maschinisten in Antriebsstation). Zwischenstationen sind so anzuordnen, daß beide Wagen gleichzeitig in einer derselben eintreffen.

e) **Signaleinrichtungen.** Stationen meist durch Läutewerk und Telephon verbunden. Auf offener Strecke eine Kontaktleitung zur Zeichengebung während der Fahrt. Elektrisches Läutewerk bei Wageneinfahrt in die Halle eingeschaltet. Lange Bahnen haben an den Kontaktdraht anschließbares Telephon auf den Wagen. Im weiteren dienen Signalthorn und Mundpfeife zur Zeichengebung.

4. Fahrzeuge.

a. Wagen.

Untergestell aus Eisen, Kasten aus Holz. Kastenboden mit Klappen, um Untergestell zugänglich zu machen. Mit Bremszangen ausgerüstete Wagen werden nicht gefedert, erhalten dagegen Filz- oder Kautschukbeilagen zwischen Ober- und Unterteil.

Spurkranzräder: $d = 600/540$ mm, $b = 70$ mm

Glatte Räder: $d = 540$ mm, $b = 200$ mm.

Gewöhnlich nur eine Wagenklasse. Einzelne Abteile treppenförmig übereinander, Endplattformen für Wagenführer (event. auch für Personen und Gepäck). Geschlossene oder halboffene Wagen. Führer immer auf Plattform der Fahrriichtung. Schiebetüren mit Verriegelung. Bei Jahresbetrieb **Heizung** (Warmwasser mit Petrolfeuerung oder elektrisch). **Beleuchtung** mit Kerzen, Petrollampen, Azetylen oder Elektrizität (Akkumulatoren oder direkte Stromzuführung). Wagen mit 14 bis 70 Plätzen. Wageneigengewicht 100 bis 250 kg auf den Platz.

Seilbefestigung am Wagen.

1. Jeder Wagen an besonderem Seil (gemeinsame Antriebtrommel).
2. An jedem Seilende ein Wagen (gewöhnliche Anordnung).
3. Wie 2., aber untere Wagenenden durch Ausgleich (Ballast-) seil verbunden.

Befestigung des Seiles in der Seilbüchse durch Umbiegen der Drahtenden und Kompositionseingufs. Besondere Vorschriften über Arbeitsvorgang.

b. Bremsen.

1. Zahnradbremsen.

Vom Wagenführer bediente Handbremsen und selbsttätige (Seilbruch-) Bremsen. Für Wasserlastbahnen Handspindelbremsen, welche durch Hebelübersetzung und Klötze oder Bänder auf Rillenbremscheiben ($2\alpha = 60^\circ$ bzw. 90°) der Zahnradachse wirken, zur Regelung der Talfahrt. Selbsttätige Bremse bei Ueberschreiten der zulässigen Geschwindigkeit durch Schwunggewicht ausgelöst.

Bezeichnet

G das Wagengewicht in kg,

α den Neigungswinkel der Bahn,

v die Fahrgeschwindigkeit in m/sk,

s den Bremsweg in m,

g die Erdbeschleunigung = 9,81 m/sk²,

so ergibt sich der größte Zahndruck in kg zu

$$Z_{\max} = G \left(\frac{v^2}{g s} + \sin \alpha \right) \quad 15)$$

2. Zangenbremsen (Abb. 6).

Nur für Bahnen mit Motorantrieb, nicht zur Regulierung der Fahrgeschwindigkeit. Vom Führer bediente Handzangenbremse und selbsttätige Seilbruchbremsen; letztere von beiden Wagenenden (Führerständen) aus auch unter Seilzug mittels Pedal auslösbar. Selbsttätige Bremsen (nur bei Talfahrt) durch Kettenantrieb von den Laufwädern geschlossen. Bremsspindel mit Rechts- und Linksgewinde. Klauen- und Rutschkupplung, erstere durch Fallgewicht eingeschaltet.

Um bei Temperaturwechsel dem Seile freie Bewegung zu lassen, darf der untere Wagen nie gebremst werden.

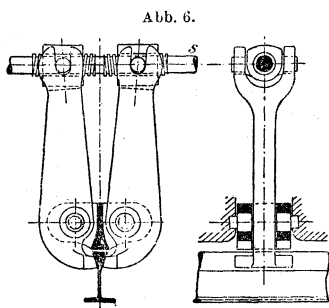


Abb. 6.

Es bezeichnen:

G_l das Gewicht des leeren Wagens,

G_b „ Gewicht des vollbelasteten Wagens,

γ die größte Steigung der Bahn,

P „ Kraft an der Bremskurbel,

R_k den Halbmesser des Kurbelkreises,

α „ Steigungswinkel des Bremsspindelgewindes,

ϱ „ Reibungswinkel des Bremsspindelgewindes,

$l:l_1$ das Verhältnis der Hebelarme der Bremszange,

R_l den Halbmesser des Laufrades,

$r_1:r_1'$ das Übersetzungsverhältnis der Bremse von der Kurbel bis zur Bremsspindel,

r den mittleren Gewindehalbmesser,

$r_2:r_2'$ das Übersetzungsverhältnis von Laufachse zur Bremsspindel,

μ die Reibungsziffer zwischen Bremszange und Schiene $\approx 0,2$,

μ' „ Reibungsziffer zwischen Laufrad und Schiene,

B_z „ Bremswirkung eines Zangenpaares.

Für die Handbremse ist

$$B_z = \frac{P \frac{r_1'}{r_1} R_k}{r} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varrho)} \cdot \frac{l}{l_1} \mu \quad 16)$$

Die nicht berücksichtigten Reibungsverluste in Zahnrädern und Wellenlagern sind mit rd. 10 vH in Abzug zu bringen.

Für die selbsttätige Bremse folgt

$$B_z = \frac{G_b}{2} \mu' \cos \gamma R_l \frac{r_2'}{r_2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} \cdot \frac{l}{l_1} \mu \quad . \quad . \quad 17)$$

wobei, wie oben, rd. 10 vH in Abzug zu bringen sind.

5. Kraftbetrieb.

Bezeichnet weiter

p das Seilgewicht in kg/m

l die ganze Seillänge in m,

v die Fahrgeschwindigkeit in m/sk.,

β_1 u. β_2 die kleinste bzw. mittlere Steigung,

so ergibt sich die Leistung des Antriebmotors in PS zu

$$L = [G_b \sin \beta_1 + p l \sin \beta_2 + (G_b + G_l) 0,005 + 0,55 l - G_l \sin \gamma] \cdot \frac{v}{75} \quad . \quad . \quad . \quad 18)$$

6. Besondere Bauarten.

1. **Doppelspurbahn.** 2 schmalspurige Bremswagen, zwischen und an den Streckenenden unter Strafsenbahnschienen geführt, laufen entgegengesetzt und stützen die Strafsenbahnwagen. Letztere sowie der talwärts fahrende Bremswagen arbeiten (Palermo — Rocca — Monreale, Sizilien).*)

2. **Schwebebahn** (Bauart Langen). In jeder Richtung fahren 1 bis 2 Wagen mit Zangenbremsen, an einer Keilkopfschiene hängend.**)

3. **Ununterbrochen umlaufendes Zugseil** (Bauart Bernardet). Entgegengesetzt geschlagenes Doppelseil mit Tragrollen läuft auf Mittelschiene. Antrieb oben, Spannungsgewicht unten, Endschiebebühen. Selbsttätig sich lösende, 6plätzig Wagen, Wagenabstand 20 sk. (Seilb. Nancy).***)

4. **Puffer- und Gegengewichtswagen.** Eingleisige Strafsenbahn; Puffer- und Gegengewichtswagen (in Kanal) durch Seil verbunden. Geg. - Gew. - Wagen hydraulisch gebremst. Selbsttätiger Betrieb. (Strafsenbahn Sydney).†)

*) Z. d. V. d. I. 1901 S. 748.

**) Gl. A. 1906 S. 21.

***) Vrgl. Gén. civ. 1906 S. 281.

†) Gén. civ. 1907 S. 288.

SECHZEHNTER ABSCHNITT.

BRÜCKENBAU.

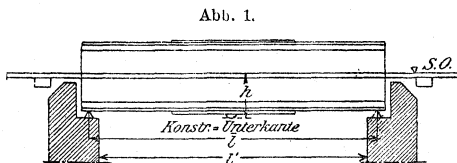
I. ALLGEMEINES.

A. Wichtige Bezeichnungen und Zahlenwerte.

1. l' = Lichtweite, l = Stützweite, d. h. Entfernung zwischen den Auflagermitten (Abb. 1).

2. **Konstruktionshöhe** oder **Bauhöhe** (h , Abb. 1) ist die senkrechte Entfernung zwischen Schienenoberkante (S.-O.) bzw. Fahrhobnoberkante und Brückenunterkante. Bei eisernen Brücken ist bei Brückenunterkante der Nietkopf und die Durchbiegung zu berücksichtigen.

3. Als **lichte Durchfahrthöhe** wird auf geraden Strecken beansprucht



bei vollspurigen Eisenbahnen $4,8 \text{ m} + \text{Spielraum} = 4,85 \text{ bis } 5$.

„ schmalspurigen „	von 1 m Spurweite	3,75 m,
„ „ „	„ 0,75 m „	3,1, u. Umst. 3,75 m,
„ „ „	„ 0,60 m „	3,1 m.

In Kurven tritt eine kleine Erhöhung dieser Mafse ein.

Bei städtischen Strafen 4,5 bis 5 m.

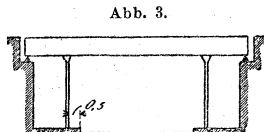
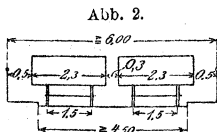
Bei ländlichen Strafen sind 5 m erwünscht, jedoch begnügt man sich im Notfalle mit 3,8 m. Größte Höhe von Fracht- und Erntewagen 3,8 bis 4,5 m, gewöhnlicher Landfuhrwerke nicht über 3 m. Ein Reiter erfordert mindestens 2,75 m. Ueber den Fußwegen mindestens 2,2 m.

Bei Binnenschiffahrtsstraßen in Norddeutschland Mindestlichthöhe 3,2 bis 4,6 m (bei den Rheinbrücken etwa 9 m) über dem höchsten schiffbaren Wasserstand, für sogen. Großschiffahrtswege 4 m auf Gesamtbreite.

4. Lichtweiten und Breitenmaße. Vrgl. auch Straßenbrücken. Bei Ueberführungen über Eisenbahngleise ist erforderlich mindestens 4,4 m für ein Gleis, mindestens 7,9 m bzw. 8,4 m für zwei Gleise. In Kurven Verbreiterung erforderlich. Vrgl. Tabelle unter B. 4.

Bei Straßenbrücken rechnet man: Größte Lastwagen bis 2,5 m breit, Entewagen bis 3,5 m, Straßenbahnwagen meist 2 m. Spielraum zwischen den Wagenreihen $\geq 0,3$ m. Für Brücken im Zuge der Feldwege Breite von 4,5 m zwischen den Geländern wegen Durchfahrt landwirtschaftlicher Maschinen.

Für zwei Wagen und Platz für eine Person zwischen Wagen und Geländer 6 m Breite (Abb. 2).



tehn. Zwischen Bordkante und Stütze oder Hauptträger mindestens 0,5 m Spielraum (Abb. 3).

Bei Binnenschiffahrtskanälen beträgt die Lichtweite mindestens 2 Schiffsbreiten + 1 m + Leinpfadbreite, besser mehr (Böschungen).

Brückenpfeiler bei Flüssen erzeugen Aufstau und vergrößerte Stromgeschwindigkeit.

B. Wahl der Spannweiten und Bauwerkslängen nach wirtschaftlichen Rücksichten.

Die Kosten der Pfeiler und Fundamente steigen langsamer mit der Spannweite als die des Ueberbaues, weshalb bei kostspieligen Fundierungen und Unterstützungen größere Spannweiten angezeigt sind.¹⁾

Bei kleineren und mittleren Spannweiten nimmt häufig die der Berechnung zugrunde zu legende Nutzlast mit wachsender Spannweite ab, während die zulässige Beanspruchung des Baustoffes steigt, so daß bei eisernen Brücken das Gewicht anfangs nicht proportional der Spannweite steigt. Bei sehr bedeutenden Spannweiten nehmen die Kosten außerordentlich schnell mit der Spannweite zu.

Eine Brücke im Vergleich zu einem Erddamm wird sich in der Regel erst von 15 bis 20 m Dammhöhe ab rentieren.

C. Wahl des Baustoffes.

1. Eisen ermöglicht die größten Spannweiten und im allgemeinen die geringste Konstruktionshöhe. Kommt es nur auf die Konstruktionshöhe in der Mitte an, so können Eisenbeton-Bogenbrücken in einigen Fällen die eisernen erreichen oder übertreffen. Eiserner Balkenbrücken können nachträglich gehoben (auch an anderen Ort versetzt)

¹⁾ Vrgl. H. d. I. W. III 1909, Brückenbau, S. 140 bis 143.

werden. Eiserne Brücken haben das geringste Gesamtgewicht, ermöglichen u. Umst. schnelle Auswechslung eines Bauwerkes durch ein neues, kurze Bauzeit und leichte Kontrolle auch älterer Bauwerke. Man kann bei Eisen das System und die Ausführungsart häufig so wählen, daß man ohne feste Rüstungen durch Auskragen das Bauwerk vollenden kann.

Nachteile eiserner Brücken: die Empfindlichkeit gegenüber Witterungseinflüssen und Rauchgasen (Unterhaltungskosten), größere elastische Formänderungen (Empfindlichkeit gegen dynamische Wirkungen, Schwanken), Geräuschentwicklung durch Eisenbahnzüge. Das geringere Gewicht der eisernen Brücken ist nachteilig, wo infolgedessen Verankerungen erforderlich werden.

2. **Steinerne Brücken und Betonbrücken** werden bei geringer Spannweite den eisernen Brücken vorgezogen, wenn die erforderliche größere Konstruktionshöhe und die Beschränkung und teilweise Entwertung des Raumes unter der Brücke zulässig sind. Dauer dieser Brücken beinahe unbegrenzt, Unterhaltungskosten sehr gering. Nachteile: schwere und oft teure Gerüstbauten, stärkere und zahlreichere Zwischenpfeiler in Flüssen (Verkehrshinderung, Stauwirkung, vergrößerte Stromgeschwindigkeit, Eisgang). Häufig entscheiden auch ästhetische Gesichtspunkte (monumentale Wirkung).

Die Wahl zwischen Stein oder Beton ist meist eine Kostenfrage. Der Betonbau ist oft billiger, besonders bei schiefen Brücken oder komplizierten Steinformen.

3. **Eisenbetonbrücken.** Vorteile, Nachteile, Bauarten, Beispiele vgl. S. 273 u. f. u. S. 307.

Eisenbetonbrücken können nicht nur als Bogenbrücken, sondern auch als Balkenbrücken oder Fachwerkbrücken in den verschiedensten Formen ausgeführt werden, mit Fahrbahn oben, teilweise versenkt oder unten. Bei reinen Bogenbrücken (Gewölben) ist die Gewölbstärke u. U. wesentlich geringer als bei steinernen Brücken (bis 0,01 / herunter). Besonders ist der Unterschied groß bei kleineren Spannweiten und großer beweglicher Belastung.

Eisenbeton schmiegte sich den verschiedenartigsten Ansprüchen gut an, z. B. leichte Verbindung (Verankerung) des Tragwerkes mit dem Widerlager, Ausnutzung der Fahrbahntafel als tragender Teil der Hauptträger.

Die leichte Möglichkeit der Auflösung des Tragwerkes in einzelne Rippen bringt oft Vorteile, verglichen mit kompakten Steingewölben. Auch bei Eisenbetongewölben erreicht man bei wachsender Spannweite eine Grenze, bei welcher das Eigengewicht so groß wird im Verhältnis zur beweglichen Belastung, daß die Drucklinie nicht aus dem mittleren Drittel heraustritt. Von dieser Spannweite aus (die mit der Nutzlast wächst) hört die wirtschaftliche Berechtigung der Eisenbetongewölbe auf (v. Emperger).

Nachteil der Eisenbetonbrücken: Nachträgliche Veränderungen des fertigen Bauwerkes oft schwierig; ebenso Beseitigung bestehender Bauwerke.

II. EISERNE BRÜCKEN.

A. Eiserne Brücken im allgemeinen.

1. Baustoffe und Konstruktionselemente.

a. Eisensorten (s. a. Abschn. Festigkeitslehre und Stoffkunde).

Gewalztes Fluß Eisen, in der Regel Siemens-Martin- oder Thomas-Fluß Eisen (Zugfestigkeiten 37 bis 44 kg, Dehnung 20 vH). In neuester Zeit vielfach Bestrebungen nach einem festeren Baustoffe. Besonders zu erwähnen sind²⁾ 3)

1. Nickelstahl, Qualität Gutehoffnungshütte 2 bis 2,5 vH Nickel. Festigkeit 56 bis 65 kg, Streckgrenze mindestens 35 kg, Dehnung mindestens 18 vH.

Bei einigen hieraus in Preußen ausgeführten Brücken waren die zugelassenen Spannungen 60 vH größer als bei gewöhnlichem Fluß Eisen.

In Amerika Nickelzusatz 3,25 vH, Festigkeit 60 bis 70 kg, Streckgrenze mindestens 38,7 kg, Dehnung mindestens 16 bis 18 vH.

Nickelstahl zeigt größeren Widerstand gegen Rosten als Fluß Eisen.

2. Elektro Eisen bzw. Elektro Stahl in vielen Qualitäten herstellbar, z. B. Festigkeit 60 bis 65 kg, Dehnung 22 bis 25 vH.

3. Hochwertiges Siemens-Martineisen mit beispielsweise 50 bis 60 kg Festigkeit und 16 bis 18 vH Dehnung.

Für Glieder des Tragwerks, die auf Knick und Biegung beansprucht sind, wird die Materialersparnis nicht ganz mit der Zunahme der zulässigen Spannungen Schritt halten.

Eine Vergrößerung der jetzt zulässigen Spannungen um 60 vH bewirkt bei zweigleisigen Brücken von 40, 100 und 200 m Spannweite Materialersparnisse von 35, 39 und 61 vH.

Nachteile eines festeren Materials mit höheren Spannungen: Stärkere Durchbiegungen, größere Empfindlichkeit gegenüber dynamischen Wirkungen.

Guß Eisen wird im Brückenbau mehr und mehr verdrängt vom Stahlformguß (Lager). Gußeisenteile auf Biegung werden meist nur mit 250 kg/qcm Zugspannung (Biegungsspannung) berechnet.

Man berücksichtigt in der Praxis zur Zeit nicht, daß besonders bei rechteckigen Querschnitten die tatsächlich auftretenden Biegungsspannungen wesentlich kleiner als die rechnerisch mit der Formel $\sigma = M : W$ ermittelten sind.

b. Verbindungsmittel.

α) Niete, vgl. auch I. Bd. Abschn. Maschinenteile, S. 772 u. f.

Nietstärke. Im größten Teil von Deutschland seit 1910 nur noch Niete von 12, 16, 20, 23 und 26 mm Dmr. üblich, 28 und 30 mm Dmr.

²⁾ Stahl u. Eisen 1909 Nr. 12.

³⁾ Kolmann, Eisenbau 1910 S. 117.

⁴⁾ Bohny, Eisenbau 1911 S. 79 (Stahl und Eisen 1911).

⁵⁾ Sonntag, Eisenbau 1911, S. 194.

für besondere Fälle. Als Nietstärke gilt die Stärke des gebohrten Nietloches. Der Nietschaft ist etwa $\frac{1}{2}$ mm dünner zu bestellen. Nietform Abb. 4, versenkte Niete Abb. 5. In seltenen Fällen sogen. halb-versenkte Niete mit flachem Kopfe verwandt. Bezeichnung der Niete siehe Abb. 6.

Größte Länge des Nietschaftes $4d$ oder höchstens $4,5d$. Bei größeren Längen verwendet man Schrauben, am besten mit konischen Schraubenbolzen.

Mafsgebend ist die Stärke der einzelnen zu verbindenden Eisenlagen, die Gesamtstärke (Länge des Nietschaftes) sowie die Gröfse der zu übertragenden Kraft. Am häufigsten findet man, auch wenn es sich nur um Heftniete handelt, bei einer Stärke von 10 bis 11 mm der zu verbindenden Bleche: $d=20$, bei 12 mm: $d=23$, bei 13 mm: $d=23$ bzw. 26 und bei stärkeren Platten $d=26$. Heftniete können jedoch auch schwächer gehalten werden.

Nietentfernungen. Kleinste Entfernung vom Blechrande a_{\min} 1. Kraftrichtung (Abb. 7) ist $1,5d$, im Notfall bis $1,25d$, die größte Entfernung $a_{\max}=2,5d$ bis $3d$ (Abb. 8).

Hiernach ergibt sich (Abb. 8) bei einer Nietreihe und dem Wurzelmafs 65 als größte zulässige Plattenbreite 280 mm bei einem Ueberstande von 14 mm.

Bei zwei Nietreihen im Winkel und $a=35$ mm würde man einen Ueberstand von 34 mm erhalten und eine Plattenbreite von 320 mm. In der Kraftrichtung ist $a'=1,5d$ (Abb. 9). a' wird oft etwas gröfser, z.B. $2d$ bemessen,

um bei ungenauer Arbeit die Möglichkeit der Lieferung eines zu kurzen Stabes zu berücksichtigen.

Die kleinste Entfernung e_{\min} zweier Niete ist $3d$ bis $2,5d$.

Die größte zulässige Entfernung e_{\max} der Niete (Heftniete) soll bei gedrückten Stäben $8d$, bei gezogenen $10d$ nicht überschreiten. Die Teile eines Querschnittes sollen dicht zusammenhalten, so dafs Wasser nicht in die Fugen eindringen kann. Für Heftniete vielfach $e=6d$,

Abb. 4.

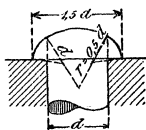


Abb. 5.

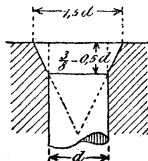


Abb. 6.

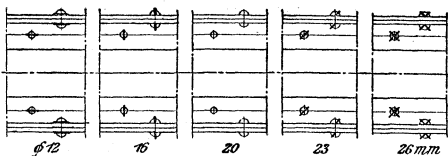


Abb. 7.

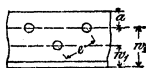


Abb. 8.

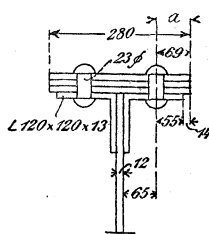
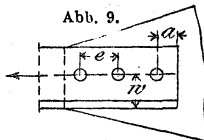


Abb. 9.



Niettable für Winkeleisen.⁶⁾

Schenkel- breite b	Wurzel- maße w bzw. w_1 u. w_2	Größter zulässiger Niet- bzw. Schrauben- dmr.	Kleinste zulässige Entfernung e zweier gegenüberstehenden Niete				
			12	16	20	23	26
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
45	25	12	30	—	—	—	—
50	30	12	25	—	—	—	—
55	30	16	25	30	—	—	—
60	35	16	15	25	—	—	—
65	35	20	15	25	30	—	—
70	40	20	—	15	25	—	—
75	40	23	—	15	25	30	—
80	45	23	—	—	15	25	—
90	50	23	—	—	—	15	—
100	55	26	—	—	—	—	20
110	60	—	—	—	—	—	—
120	65	—	—	—	—	—	—
130	50/95	Niete in den inneren Nietlinien stehend vor- ausgesetzt.	}	}	15	25	35
140	55/105				15	30	
150	60/110				—	20	
160	60/115				—	20	
200	65/150				—	—	
Durchmesser des Döppers			35	40	45	50	55

Abb. 10.

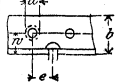
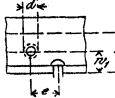


Abb. 11.



Auch andere Wurzelmaße werden verwendet, z. B. $w = \frac{l}{2} + \frac{s}{4}$, wo s die Schenkelstärke ist.

Das kleinste Maß y (Abb. 12) wenn möglich so groß, daß der Nietkopf nicht in die Rundung kommt, im Notfall $y = \frac{3}{4}d + 5$ mm bzw. $\frac{3}{4}d + 8$ mm, je nach Nietgröße.

Das Maß z (Abb. 13) soll bei zwei Nieten, die in demselben Querschnitt stehen, mindestens 5 mm sein. Man wähle y und z möglichst größer als die angegebenen Minimalmaße.

Nietberechnung. Zulässige Scherspannung nach den Brückenbauvorschriften der preussischen Eisenbahnen $\tau = 0,9 \sigma_z$ (σ_z = zulässige Zugbeanspruchung). Lochleibungsdruck $\sigma_1 = 2\tau$.

Einschnittige Niete in der Regel auf Abscherung zu berechnen.

Für $\tau = 0,9 \sigma_z$ und $\sigma_e = 2\tau$ sind einschnittige Niete auf Lochleibungsdruck zu berechnen, wenn

Abb. 12.



Abb. 13.



$$d > \frac{8}{\pi} \cdot \delta, \text{ d. h. } > 2,55 \delta,$$

oder wenn

$$\delta < \frac{\pi}{8} \cdot d, \text{ d. h. } < 0,393 d.$$

Zweischchnittige Niete sind nach denselben Voraussetzungen auf Lochleibungsdruck bzw. auf Abscherung zu berechnen, je nachdem

$$d \geq 1,273 \delta \text{ oder } \delta \leq 0,785 d.$$

⁶⁾ Aus den Angaben des Handbuches des Eisenkonstruktors der Brückenbauanstalt Jucho, Dortmund.

geringerer Festigkeit in seitlicher Richtung besser nicht in Knotenblechen zu verwenden.

Bleche (bearbeitete Ränder). Ohne Ueberpreis erhält man 10 bis 15 mm starke Bleche bis 2200 mm Breite, 12 qm Fläche und 1250 kg Gewicht, bei 15 mm: Stärke bis 2400 mm Breite, 15 qm Fläche und 2500 kg Gewicht.

Für Breiten bis 3000 mm und darüber Ueberpreise.

Blechstärken bei tragenden Konstruktionsteilen im Brückenbau selten unter 10 mm, in freier Luft nicht unter 8 mm. Größere Stärken als 20 mm selten.

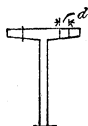
Formeisen (s. I. Bd. S. 656 u. f., zu beachten sind auch die Vorprofile).

2. Haupttragwerke.

a. Gewalzte Träger.

Normalprofile (Abb. 16).

Abb. 16.	Nietdurchmesser d	16	20	23	26 mm
	verlangt N.-P.	20	27	36	45



Die Verkleinerung des Widerstandsmomentes bei 2 Löchern in jedem Flansch beträgt in Prozenten nahezu $V = \frac{495 \cdot d}{N + 7}$, wobei N die Profilnummer. (Mafse in cm!)⁸⁾

Beispiel: N.-P. 40 mit $W = 1459$ und Nietdurchmesser 23

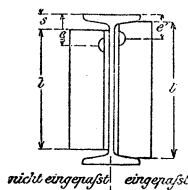
$$V = \frac{495 \cdot 23}{47} = 24,25 \text{ vH,}$$

also $W = 0,7575 \cdot 1459 = 1104 \text{ ccm (genau 1103!)}.$

Bei 2 Löchern in einem Flansch ist W ziemlich genau 5 vH größer als bei 4 Löchern, also $W = 1,05 \cdot 1104 = \sim 1160 \text{ ccm.}$

Abb. 17. Hinreichend genau ist für nicht in die Rundung eingepaßte Winkel: $s = 0,1 h$, $l = 0,8 h$.

Abb. 17.



Genauer ist

für N.-P. 16 bis 19	$l = 0,8 h - 2 \text{ mm}$
" " 34 " 38	$l = 0,8 h + 2 \text{ "}$
" " 40 " 55	$l = 0,8 h + 4 \text{ "}$

Die Länge des eingepaßten Winkelleisens l' ist bei

N.-P. 15	$0,9 h + 1 \text{ mm}$
" 47,5	$0,9 h + 8,5 \text{ "}$

2. Bei den breitflanschigen Trägern (Differdinger, Grey-Profile) ist genau genug (Abb. 17) $s = t_2 + d$, wo t_2 größte Flanschstärke, d Stegstärke, also für nicht eingepaßte Winkel $l = h - 2(t_2 + d)$.

3. Bei Straßenbrücken häufig C-Eisen statt I-Eisen als Längsträger des bequemen Anschlusses wegen gebraucht. Die Verschwächungsformel für das Widerstandsmoment für ein Niet in jedem Flansch ist

$$V = \frac{305 d}{N + 8} \text{ vH.}$$

C-Eisen sind in bezug auf Widerstandsfähigkeit gegen Biegung den **I**-Querschnitten (symmetrischen Querschnitten) mit gleichen rechnerischen Widerstandsmomenten nicht gleichwertig.

Um folgende Prozentzahlen sind nach C. v. Bach⁷⁾ die in den Profiltabellen angegebenen Widerstandsmomente der **C**-Eisen zu verkleinern:

C -NP.	30	26	22	18	14
a)	26	22	18	13	8,5

wenn die Lastebene mit der Stegeebene zusammenfällt,

b)	34	30	25	19	12,5
----	----	----	----	----	------

wenn die Lastebene mit der senkrechten Schwerlinie zusammenfällt.

b. Blechträger.

Stehblech. Häufigste Stärke 12 mm, für kleine, leichter belastete Träger 10 mm und für mehr untergeordnete Konstruktionen u. Umst. nur 8 mm.

Für große Spannweiten und Höhen, etwa von 1,5 m ab, werden Stärken über 12 mm verwendet. Mehr als 15 mm Stärke selten erforderlich. Vianello⁸⁾ gibt als praktische Formel zur Stärkenbestimmung

$$\text{an: } \delta_2 = 0,7 + \frac{h}{250}.$$

In Deutschland Stehblechhöhe bis 2,5 m, in Amerika bis über 3 m.

Als Anhalt zur Bestimmung der wirtschaftlich vorteilhaftesten Trägerhöhe kann man bei Trägern mit mehreren Gurtplatten und parallelen Gurtungen in üblicher konstruktiver Ausführung annehmen

$$h = 1,2 \sqrt{W} \text{ bei } W = 10\,000 \text{ cm}^3$$

$$h = \sqrt{W} \text{ bei } W = 30\,000 \text{ cm}^3.$$

Bei Trägern ohne oder mit nur einer Gurtplatte ist die günstigste Höhe meist größer.

Für Eisenbahnbrücken wird $\frac{1}{9}l$ bis $\frac{1}{10}l$ als vorteilhafteste Stehblechhöhe angegeben. Man beachte, daß der günstigste Wert $\frac{h}{l}$ größer bei zweigleisigen als bei eingleisigen Brücken ist und bei wachsendem l langsam abnimmt. Meistens nimmt der Materialverbrauch wesentlich zu bei Gesamthöhen unter $\frac{l}{12}$. Dennoch werden Höhen bis $\frac{l}{20}$ herunter ausgeführt.

Bei Querträgern kommen Höhen bis $\frac{l}{6}$ und mehr vor.

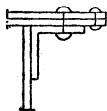
Gurtwinkel. Müssen die Gurtwinkel gestoßen werden, so vermeide man kleinere Winkel als 90°. Bei ungleichschenkligen Winkelleisen die breiteren Schenkel horizontal. (Ueber Nietabzug vrgl. S. 986.)

⁷⁾ Z. d. V. d. I. 1909 S. 1795.

⁸⁾ Vianello, Der Eisenbau, München u. Berlin 1905, R. Oldenburg.

Gurtplatten. Höchstens vier. Die innerste Gurtplatte wird häufig bis zum Auflager geführt, auch wenn dies statisch nicht erforderlich ist. Ueberstand der Gurtplatten über die Winkeleisen in der Regel mindestens 5 mm. Ueberstand nach oben begrenzt durch die Entfernung a (Abb. 8). Bei Gurtwinkeln mit zwei Nietreihen kann a für die Winkeleisen (Abb. 7) gleich $1,5 d$ gesetzt werden.

Abb. 18.



Mit $a = 3 d$ für die Platten erhält man als größten zulässigen Ueberstand $1,5 d$. Bei einer Nietreihe in den Gurtwinkeln wird der Ueberstand in der Regel kleiner. Bei einer einzigen Gurtplatte kann der Ueberstand größer ausgeführt werden. Ein größerer Ueberstand ist möglich, wenn nach Abb. 18 eine Nietreihe durch die Platten außerhalb der Winkel angebracht wird. Diese Niete könnten kleiner sein. Die Anschlusniete der Gurtwinkel an

Platten stärker beansprucht.

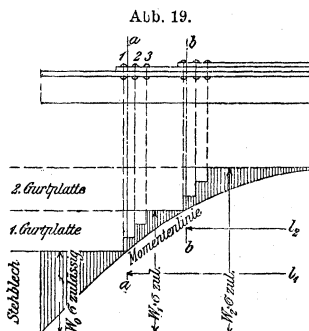
Man wähle die Gurtplatten etwa so stark wie die Winkeleisen.

Gurtplattenlängen (Abb. 19). Sicherheitshalber wählt man die Plattenlänge etwas reichlicher, als theoretisch erforderlich.

In Abb. 19 ist angenommen, daß drei Paar Anschlusniete erforderlich sind.

Ist $\tau = 0,9 \sigma_z$, so ist die erforderliche Zahl der Anschlusniete

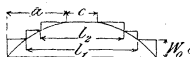
$$n = \frac{1,11 F_p}{\frac{\pi d^2}{4}}$$



Für $d = 20 \quad 23 \quad 26 \text{ mm}$
erhält man $n = 0,354 \quad 0,267 \quad 0,209 F_p$,

wobei als F_p die geschwächte Querschnittsfläche eingesetzt werden darf, und zwar um so mehr, als die Spannung am Ende der Gurtplatte nicht den vollen zulässigen Betrag erreicht. Vgl. „Stöße“ S. 1003.

Abb. 20.



Rechnerische Bestimmung der Gurtplattenlänge. Nach den preussischen Brückenbauvorschriften darf man annehmen, daß die Momentenlinie aus einer mittleren horizontalen Strecke $c = 0,12 l$ und aus zwei Parabelstücken besteht (Abb. 20). Man erhält dann im allgemeinen

$$l_1 = c + 2a \sqrt{l - \frac{W_0}{W}}; \quad l_2 = c + 2a \sqrt{l - \frac{W_1}{W}} \text{ usw.,}$$

also für $c = 0,12 l$ wird $l_1 = 0,12 l + 0,88 l \sqrt{l - \frac{W_0}{W}}$ usw.

W ist hierbei das erforderliche Widerstandsmoment in der Mitte.

L 80.80.10 Nietstärke 20 mm Stehblechstärke 10 mm Gurtplatten 180.10 und 200.10.									L 90.90.11 Nietstärke 20 mm Stehblechstärke 10 mm Gurtplatten 200.11 und 220.11.								
Steh- blech- höhe	g ₀ kg	W ₀ cem	W ₁		W ₂		W ₃		g ₀ kg	W ₀ cem	W ₁		W ₂		W ₃		
			- 180.10	- 200.10	= 180.10	= 200.10	= 180.10	= 200.10			- 200.11	- 220.11	= 200.11	= 220.11	= 200.11	= 220.11	
40	79,0	1073	1575	1655	2092	2252	2617	2859	90,2	1270	1887	1975	2536	2713	3199	3465	
42	80,6	1147	1679	1763	2223	2391	2774	3028	91,8	1357	2011	2103	2694	2879	3389	3668	
44	82,1	1223	1785	1873	2355	2532	2933	3199	93,3	1446	2136	2233	2853	3047	3581	3873	
46	83,7	1300	1893	1985	2489	2674	3094	3371	94,9	1536	2263	2365	3013	3216	3775	4080	
48	85,3	1379	2002	2098	2625	2818	3256	3546	96,5	1627	2392	2498	3176	3387	3970	4289	
50	86,9	1458	2112	2212	2762	2963	3420	3721	98,1	1720	2522	2632	3339	3560	4168	4499	
52	88,4	1540	2224	2328	2901	3109	3585	3898	99,6	1815	2654	2768	3505	3734	4366	4711	
54	90,0	1622	2337	2445	3041	3257	3752	4077	101,2	1911	2787	2906	3672	3910	4567	4925	
56	91,6	1707	2452	2564	3183	3407	3920	4257	102,8	2008	2922	3045	3840	4087	4769	5140	
58	93,1	1792	2568	2684	3326	3558	4090	4439	104,3	2106	3058	3186	4010	4266	4972	5357	
60	94,7	1879	2686	2806	3470	3710	4261	4622	105,9	2207	3196	3328	4182	4446	5178	5575	
62	96,3	1967	2805	2929	3616	3864	4434	4807	107,5	2308	3335	3471	4355	4628	5384	5795	
64	97,8	2057	2925	3053	3763	4020	4608	4993	109,0	2411	3475	3616	4529	4811	5592	6016	
66	99,4	2147	3047	3179	3912	4176	4784	5181	110,6	2515	3617	3763	4705	4996	5802	6239	
68	101,0	2240	3170	3306	4062	4334	4961	5370	112,2	2620	3761	3910	4882	5182	6013	6463	
70	102,6	2333	3295	3435	4214	4494	5139	5560	113,8	2727	3906	4060	5061	5370	6226	6689	
72	104,1	2428	3420	3564	4367	4655	5319	5752	115,2	2836	4052	4210	5241	5558	6440	6916	
74	105,7	2525	3548	3696	4521	4817	5500	5945	116,9	2945	4199	4362	5423	5749	6655	7145	
76	107,3	2622	3676	3828	4677	4981	5683	6140	118,5	3056	4348	4515	5606	5941	6872	7375	
78	108,8	2721	3806	3962	4834	5146	5867	6336	120,0	3169	4499	4670	5790	6134	7090	7606	
80	110,4	2822	3938	4098	4992	5312	6052	6533	121,6	3283	4650	4826	5976	6328	7310	7839	
82	112,0	2924	4070	4234	5152	5480	6239	6732	123,2	3398	4803	4984	6163	6524	7531	8074	
84	113,5	3027	4205	4373	5313	5649	6427	6932	124,7	3514	4958	5143	6352	6722	7754	8309	
86	115,1	3131	4340	4512	5476	5820	6617	7134	126,3	3632	5114	5303	6542	6921	7978	8546	
88	116,7	3237	4447	4623	5640	5992	6808	7337	127,9	3751	5271	5465	6733	7121	8203	8785	
90	118,3	3344	4615	4795	5805	6165	7000	7541	129,5	3872	5430	5628	6926	7322	8430	9025	
92	119,8	3452	4754	4939	5972	6340	7194	7747	131,0	3993	5590	5792	7120	7525	8658	9266	
94	121,4	3562	4895	5083	6140	6516	7380	7954	132,6	4117	5751	5958	7316	7730	8888	9509	
96	123,0	3673	5038	5230	6309	6693	7586	8162	134,2	4241	5914	6125	7513	7935	9119	9753	
98	124,5	3786	5181	5377	6480	6872	7783	8372	135,7	4367	6078	6293	7711	8142	9351	9999	
100	126,1	3900	5326	5526	6652	7052	7983	8583	137,3	4494	6243	6463	7910	8351	9585	10216	
Gewicht der Gurtplatten			28,26	31,40	56,52	62,80	84,78	94,2				34,54	37,99	69,08	75,99	103,62	113,98

Für den Träger ohne Gurtplatte ist das Widerstandsmoment am kleinsten, wenn die Nietlöcher 1 in Abzug gebracht werden. Man hat (vgl. oben)

$$J_{\text{brutto}} = 234\,662 \text{ cm}^4$$

$$\text{Nietabzug I: } 2 \cdot 2,3 \cdot 3,6 \cdot 39,5^2 = 25\,838 \text{ „}$$

$$J_0' = 208\,824 \text{ cm}^4$$

$$W_0 = \frac{208\,824}{45} = 4641 \text{ cm.}$$

Unter Benutzung der Tabellen S. 993 bekommt man

$$W_2 = 8402 \quad W_1 = 6413$$

$$\text{Korrektur für 2 mm stärkeres Stehblech: } 2 \times 128 = 256 \quad \text{Korrektur für 2 mm stärkeres Stehblech: } 2 \times 132 = 264$$

$$W_2 \text{ verbessert} = 8658 \quad W_1 \text{ verbessert} = 6677$$

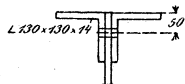
Die belanglosen Unterschiede gegenüber den Werten der Zahlenbeispiele rühren daher, daß die Tabelle die Rundungen der Winkel nicht berücksichtigt.

Die Fehler, die dadurch entstehen, daß die Gurtplatten-Trägheitsmomente auf die eigene Schwerachse vernachlässigt werden, sind sehr klein (z. B. oben 0,12 cm bei einer Gurtplatte).

Tabellen für genietete Träger (Tafel 1 bis 10).

Bei Tafel 6 ist die Abrundung der Winkel berücksichtigt, bei den übrigen nicht. Bei der Berechnung von W_0 in Tafel 1, 3, 4 u. 7 ist das Nietloch in der Mitte des freien Schenkels angenommen, bei Tafel 5 u. 6 ist ein Wurzelmaß von 50 mm angenommen (Abb. 22). Die Werte W bzw. ΔW der Tafeln 1, 2, 3 u. 7, sowie die meisten der für die geringeren Höhen der Tafeln 4 u. 5 sind den Tabellen von Böhm u. John entnommen.¹⁰⁾ die übrigen Neuberechnet.

Abb. 22.



Tafel 2.

h	Änderung ΔW des Widerstandsmomentes bei einer Änderung der Stehblechstärke von 1 mm bei 1 bis 3 Gurtplatten						h	Änderung ΔW des Widerstandsmomentes bei einer Änderung der Stehblechstärke von 1 mm bei 1 bis 3 Gurtplatten					
	Plattenstärke mm			Plattenstärke mm				Plattenstärke mm			Plattenstärke mm		
cm	10	20	30	11	22	33	cm	10	20	30	11	22	33
50	40	39	37	40	38	37	80	104	102	99	104	101	99
52	43	42	40	43	42	40	82	109	107	104	109	106	104
54	47	45	44	47	45	43	84	115	112	110	115	112	109
56	51	49	47	50	49	47	86	121	118	115	120	117	115
58	54	52	51	54	52	50	88	126	124	121	126	123	120
60	58	56	55	58	56	54	90	132	129	127	132	129	126
62	62	60	58	62	60	58	92	138	135	132	138	135	132
64	66	64	62	66	64	62	94	144	141	138	144	141	138
66	71	69	67	70	68	66	96	151	148	145	150	147	144
68	75	73	71	75	72	70	98	157	154	151	157	153	150
70	80	77	75	79	77	75	100	163	160	157	163	160	156
72	84	82	80	84	81	79							
74	89	87	84	89	86	84							
76	94	92	89	94	91	89							
78	99	97	94	99	96	94							

¹⁰⁾ Böhm & John, Widerstandsmomente usw., Berlin 1895, Verlag J. Springer.

Tafel 3.

L 100. 100. 12 Nietstärke 23 mm Stehblechstärke 10 mm
Gurtplatten 220. 12 und 240. 12.

Steh- blech- höhe	g ₀ kg	W ₀ ccm	W ₁		W ₂		W ₃	
			— 220. 12	— 240. 12	— 220. 12	— 240. 12	— 220. 12	— 240. 12
30	94,9	100x	1 487	1 559	2 062	2 207	2 657	2 876
32	96,4	1093	1 619	1 696	2 233	2 388	2 866	3 099
34	98,1	1187	1 754	1 836	2 407	2 571	3 078	3 325
36	99,6	1283	1 891	1 977	2 582	2 756	3 292	3 554
38	101,1	1381	2 029	2 121	2 760	2 943	3 508	3 784
40	102,7	1481	2 170	2 266	2 940	3 133	3 727	4 017
42	104,3	1582	2 313	2 413	3 122	3 324	3 948	4 253
44	105,8	1684	2 457	2 562	3 307	3 518	4 170	4 490
46	107,4	1789	2 603	2 713	3 491	3 713	4 395	4 729
48	109,0	1895	2 750	2 866	3 678	3 910	4 622	4 970
50	110,6	2002	2 900	3 020	3 867	4 108	4 850	5 212
52	112,1	2111	3 050	3 175	4 058	4 308	5 080	5 457
54	113,7	2221	3 203	3 332	4 250	4 510	5 312	5 703
56	115,3	2333	3 357	3 491	4 444	4 714	5 546	5 951
58	116,8	2446	3 512	3 652	4 650	4 919	5 781	6 200
60	118,4	2560	3 669	3 813	4 837	5 125	6 018	6 452
62	120,0	2677	3 828	3 977	5 035	5 334	6 256	6 704
64	121,5	2794	3 988	4 141	5 236	5 543	6 496	6 959
66	123,1	2913	4 149	4 307	5 437	5 754	6 738	7 215
68	124,7	3033	4 312	4 475	5 640	5 967	6 981	7 472
70	126,3	3155	4 476	4 644	5 845	6 181	7 225	7 731
72	127,8	3278	4 642	4 815	6 051	6 397	7 472	7 992
74	129,4	3402	4 809	4 987	6 258	6 614	7 719	8 254
76	121,0	3528	4 978	5 160	6 467	6 833	7 968	8 517
78	132,5	3655	5 148	5 335	6 678	7 053	8 219	8 782
80	134,1	3784	5 319	5 511	6 889	7 274	8 471	9 048
82	135,7	3914	5 492	5 689	7 103	7 497	8 724	9 316
84	137,2	4045	5 666	5 868	7 317	7 721	8 979	9 586
86	138,8	4177	5 842	6 048	7 533	7 947	9 236	9 856
88	140,4	4311	6 019	6 230	7 751	8 174	9 494	10 129
90	142,0	4447	6 197	6 413	7 970	8 402	9 753	10 402
92	143,5	4584	6 377	6 598	8 190	8 632	10 014	10 677
94	145,1	4722	6 558	6 773	8 412	8 863	10 276	10 954
96	146,7	4861	6 740	6 971	8 635	9 096	10 539	11 232
98	148,2	5002	6 924	7 159	8 859	9 330	10 804	11 511
100	149,8	5144	7 109	7 349	9 085	9 565	11 070	11 791
102	151,4	5288	7 296	7 541	9 312	9 802	11 338	12 074
104	152,9	5432	7 484	7 734	9 541	10 040	11 607	12 357
106	154,5	5579	7 673	7 928	9 771	10 280	11 878	12 642
108	156,1	5726	7 864	8 123	10 002	10 521	12 149	12 928
110	157,7	5875	8 056	8 320	10 235	10 763	12 423	13 216
112	159,2	6025	8 250	8 518	10 469	11 007	12 697	13 505
114	160,8	6177	8 444	8 718	10 704	11 252	12 973	13 795
116	162,4	6330	8 640	8 919	10 941	11 498	13 251	14 087
118	163,9	6484	8 838	9 121	11 179	11 746	13 530	14 380
120	165,5	6640	9 037	9 325	11 419	11 995	13 810	14 675
122	167,1	6797	9 237	9 530	11 660	12 246	14 091	14 971
124	168,6	6955	9 439	9 736	11 902	12 498	14 374	15 268
126	170,2	7115	9 641	9 944	12 146	12 751	14 658	15 567
128	171,8	7276	9 846	10 153	12 391	13 006	14 944	15 867
130	173,4	7438	10 051	10 363	12 637	13 261	15 231	16 168
Gewicht der Gurtplatten			41,45	45,22	82,90	90,43	124,34	135,65

Tafel 4.

L 120. 120. 13 Nietstärke 26 mm, Gurtplatten 260. 13 und 280. 13.

Steh- blech- stärke	Steh- blech- höhe	g ₀ kg	W ₀ ccm	W ₁		W ₂		W ₃	
				— 260. 13	— 280. 13	= 260. 13	= 280. 13	= 260. 13	= 280. 13
12 mm	60	149,7	3 181	4 645	4 801	6 154	6 456	7 681	8 152
	62	151,6	3 326	4 847	5 009	6 407	6 730	7 987	8 473
	64	153,5	3 473	5 051	5 218	6 603	6 997	8 294	8 795
	66	155,4	3 621	5 257	5 429	6 921	7 265	8 603	9 120
	68	157,3	3 771	5 465	5 642	7 180	7 535	8 914	9 447
	70	159,1	3 923	5 674	5 856	7 442	7 806	9 227	9 775
	72	161,0	4 076	5 885	6 073	7 705	8 080	9 542	10 106
	74	162,9	4 231	6 098	6 291	7 970	8 356	9 859	10 438
	76	164,8	4 388	6 313	6 511	8 237	8 633	10 178	10 772
	78	166,7	4 546	6 529	6 732	8 506	8 912	10 498	11 109
	80	168,6	4 706	6 748	6 956	8 776	9 193	10 821	11 446
	82	170,4	4 868	6 968	7 181	9 048	9 475	11 145	11 786
	84	172,3	5 032	7 189	7 408	9 322	9 759	11 471	12 128
	86	174,2	5 197	7 413	7 636	9 598	10 045	11 798	12 471
	88	176,1	5 363	7 638	7 866	9 875	10 333	12 128	12 816
	90	178,0	5 532	7 864	8 098	10 154	10 623	12 459	13 163
	92	179,9	5 702	8 093	8 332	10 435	10 914	12 792	13 511
	94	181,8	5 874	8 323	8 567	10 717	11 207	13 127	13 861
	96	183,6	6 047	8 555	8 804	11 002	11 501	13 463	14 213
	98	185,5	6 222	8 788	9 043	11 287	11 797	13 801	14 567
	100	187,4	6 399	9 023	9 283	11 573	12 095	14 141	14 922
	102	189,3	6 577	9 260	9 525	11 864	12 395	14 483	15 280
	104	191,2	6 757	9 498	9 769	12 155	12 696	14 826	15 638
	106	193,1	6 938	9 738	10 014	12 448	12 999	15 171	15 999
	108	194,9	7 121	9 980	10 261	12 742	13 304	15 517	16 361
	110	196,8	7 306	10 224	10 510	13 038	13 610	15 866	16 725
	112	198,7	7 492	10 469	10 760	13 336	13 918	16 216	17 091
	114	200,6	7 680	10 715	11 012	13 635	14 228	16 568	17 458
	116	202,5	7 870	10 964	11 265	13 936	14 539	16 921	17 827
	118	204,4	8 061	11 214	11 520	14 238	14 852	17 276	18 198
	120	206,2	8 254	11 465	11 777	14 543	15 167	17 633	18 570
	122	208,1	8 449	11 718	12 036	14 849	15 483	17 991	18 944
	124	210,0	8 645	11 973	12 296	15 156	15 801	18 351	19 320
	126	211,9	8 843	12 230	12 557	15 465	16 121	18 713	19 697
	128	213,8	9 042	12 488	12 821	15 776	16 442	19 076	20 076
	130	215,7	9 243	12 748	13 086	16 089	16 765	19 441	20 456
	132	217,5	9 445	13 009	13 352	16 403	17 089	19 808	20 839
	134	219,4	9 650	13 272	13 621	16 718	17 415	20 176	21 223
	136	221,3	9 855	13 537	13 890	17 036	17 743	20 546	21 608
	138	223,2	10 063	13 803	14 162	17 355	18 073	20 918	21 995
14 mm	140	247,1	10 922	14 768	15 132	18 360	19 088	21 963	23 056
	142	249,3	11 151	15 057	15 426	18 701	19 440	22 357	23 466
	144	251,5	11 382	15 347	15 722	19 045	19 794	22 753	23 877
	146	253,7	11 615	15 640	16 020	19 390	20 150	23 151	24 291
	148	255,9	11 850	15 935	16 320	19 737	20 500	23 551	24 706
	150	258,1	12 087	16 231	16 621	20 086	20 866	23 952	25 123
	152	260,3	12 325	16 530	16 925	20 437	21 228	24 356	25 542
	154	262,5	12 566	16 830	17 230	20 790	21 591	24 761	25 963
	156	264,8	12 808	17 132	17 538	21 145	21 956	25 168	26 386
	158	266,9	13 052	17 436	17 847	21 501	22 323	25 577	26 811
	160	269,1	13 298	17 742	18 158	21 860	22 692	25 988	27 237
	162	271,3	13 545	18 049	18 471	22 221	23 063	26 399	27 664

Gewicht der Gurtplatten

10 357

10 557

10 760

10 966

11 173

11 381

Tafel 5.

L 130. 130. 14

Nietstärke 26 mm

1 bis 3 Gurtplatten 280. 13 und 300. 13.

Stahlblech- stärke	Stahlblech- höhe	g ₀ kg	W ₀ ccm	W ₁		W ₂		W ₃		Stahlblech- stärke	Stahlblech- höhe	g ₀ kg	W ₀ ccm	W ₁		W ₂		W ₃	
				280. 13	300. 13	280. 13	300. 13	280. 13	300. 13					280. 13	300. 13	280. 13	300. 13	280. 13	300. 13
				—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
Stahlblech- stärke 12 mm	80	184,2	5 213	7 500	7 708	9 720	10 136	11 958	12 584	14 mm	142	264,9	12 244	16 554	16 925	20 548	21 287	24 555	25 664
	82	186,0	5 393	7 743	7 956	10 020	10 447	12 315	12 937		144	297,1	12 494	16 869	17 244	20 921	21 670	24 985	26 109
	84	187,9	5 574	7 987	8 206	10 322	10 760	12 674	13 351		146	269,3	12 746	17 185	17 565	21 295	22 054	25 417	26 557
	86	189,8	5 757	8 234	8 458	10 626	11 074	13 035	13 708		148	271,5	12 999	17 504	17 888	21 671	22 441	25 850	27 006
	88	191,7	5 942	8 482	8 711	10 932	11 390	13 398	14 086		150	273,7	13 255	17 824	18 214	22 049	22 830	26 286	27 458
	90	193,6	6 128	8 732	8 966	11 239	11 707	13 763	14 466		152	275,8	13 512	18 147	18 542	22 430	23 220	26 724	27 911
	92	195,5	6 316	9 084	9 223	11 548	12 027	14 129	14 848		154	278,0	13 771	18 471	18 871	22 812	23 612	27 104	28 366
	94	197,4	6 505	9 237	9 482	11 859	12 348	14 497	15 232		156	280,2	14 032	18 797	19 203	23 195	24 007	27 605	28 823
	96	199,3	6 697	9 492	9 742	12 171	12 671	14 867	15 617		158	282,4	14 295	19 125	19 536	23 581	24 403	28 049	29 282
	98	201,1	6 890	9 749	10 004	12 486	12 996	15 238	16 004		160	284,6	14 560	19 455	19 871	23 969	24 801	28 494	29 743
	100	203,0	7 085	10 007	10 267	12 802	13 322	15 612	16 393		162	286,8	14 827	19 787	20 208	24 359	25 201	28 941	30 206
	102	204,9	7 281	10 267	10 533	13 119	13 650	15 987	16 784		164	289,0	15 095	20 120	20 547	24 751	25 603	29 390	30 671
	104	206,8	7 479	10 529	10 800	13 439	13 980	16 363	17 176		166	291,2	15 366	20 456	20 888	25 143	26 006	29 841	31 137
	106	208,7	7 679	10 793	11 068	13 760	14 311	16 742	17 570		168	293,4	15 638	20 793	21 230	25 538	26 411	30 294	31 606
	108	210,5	7 880	11 058	11 339	14 083	14 645	17 122	17 966		170	295,6	15 912	21 132	21 574	25 935	26 819	30 749	32 076
	110	212,4	8 083	11 325	11 611	14 407	14 979	17 504	18 364		172	297,8	16 188	21 473	21 920	26 334	27 229	31 206	32 548
	112	214,3	8 288	11 593	11 884	14 733	15 316	17 888	18 763		174	300,0	16 466	21 816	22 268	26 735	27 640	31 665	33 022
	114	216,2	8 494	11 863	12 160	15 061	15 654	18 273	19 164		176	302,2	16 746	22 161	22 618	27 138	28 053	32 125	33 498
	116	218,1	8 702	12 135	12 437	15 391	15 994	18 660	19 566		178	304,4	17 028	22 508	22 970	27 542	28 468	32 587	33 976
	118	220,0	8 911	12 408	12 715	15 722	16 336	19 049	19 971		180	306,6	17 312	22 857	23 325	27 949	28 885	33 052	34 456
	120	221,8	9 123	12 684	12 996	16 055	16 679	19 439	20 377		182	308,8	17 597	23 208	23 681	28 357	29 304	33 518	34 938
Stahlblech- stärke 14 mm	122	244,9	10 783	13 446	13 764	16 865	17 500	20 298	21 251	Gewicht der Gurtplatten kg	184	311,0	17 884	24 038	24 517	29 725	30 683	35 422	36 884
	124	245,1	10 912	13 741	14 063	17 217	17 862	20 707	21 671		186	313,2	18 173	24 394	24 879	30 147	31 117	35 907	37 375
	126	247,3	11 044	14 038	14 365	17 571	18 227	21 119	22 103		188	315,4	18 464	24 771	25 260	30 572	31 548	36 384	37 868
	128	249,5	11 178	14 335	14 668	17 928	18 593	21 533	22 532		190	317,6	18 757	25 123	25 623	31 007	32 000	36 884	38 366
	130	251,7	11 313	14 636	14 974	18 286	18 962	21 948	22 963		192	319,8	19 052	25 488	26 000	31 426	32 437	37 375	38 884
	132	253,9	11 450	14 939	15 282	18 645	19 332	22 365	23 396		194	322,0	19 349	25 850	26 375	31 856	32 877	37 884	39 400
	134	256,1	11 589	15 242	15 591	19 007	19 704	22 785	23 832		196	324,2	19 647	26 224	26 757	32 288	33 313	38 393	39 919
	136	258,3	11 731	15 549	15 902	19 371	20 078	23 206	24 268		198	326,4	19 948	26 600	27 142	32 702	33 734	38 860	40 386
	138	260,5	11 873	15 856	16 215	19 737	20 455	23 630	24 707		200	328,6	20 250	26 977	27 527	33 118	34 157	39 360	40 860
	140	262,7	12 019	16 166	16 530	20 104	20 832	24 055	25 148										

Tafeln für genietete Träger.

995

Tafel 6.

L 140. 140. 15

Nietstärke 26 mm

1 bis 3 Gurtplatten 310. 15 und 330. 15.

Stahlblech- stärke	Stahlblech- höhe	g ₀	W ₀	W ₁		W ₂		W ₃		Stahlblech- stärke	Stahlblech- höhe	g ₀	W ₀	W ₁		W ₂		W ₃							
				310 . 15	330 . 15	310 . 15	330 . 15	310 . 15	330 . 15					310 . 15	330 . 15	310 . 15	330 . 15	310 . 15	330 . 15						
14 mm																									
120	256,68	10 617	15 300	15 598	19 636	20 357	24 057	25 139	182	339,10	19 719	26 941	27 487	33 671	34 763	40 418	42 057								
122	258,88	10 866	15 570	15 936	20 043	20 776	24 538	25 639	184	341,46	20 038	27 343	27 895	34 149	35 253	40 972	42 629								
124	261,08	11 117	15 903	16 275	20 452	21 196	25 022	26 140	186	343,82	20 359	27 748	28 306	34 608	35 745	41 527	43 202								
126	263,28	11 369	16 238	16 616	20 862	21 619	25 508	26 644	188	346,18	20 682	28 154	28 718	35 110	36 239	42 085	43 777								
128	265,48	11 623	16 575	16 959	21 275	22 043	25 995	27 149	190	348,52	21 007	28 562	29 132	35 595	36 735	42 644	44 355								
130	267,68	11 880	16 914	17 304	21 689	22 469	26 485	27 657	192	350,88	21 334	28 973	29 549	36 081	37 234	43 206	44 935								
132	269,86	12 138	17 255	17 651	22 105	22 898	26 976	28 166	194	353,24	21 663	29 385	29 967	36 569	37 733	43 769	45 516								
134	272,06	12 398	17 598	18 000	22 524	23 328	27 470	28 678	196	355,60	21 994	29 800	30 388	37 059	38 236	44 335	46 164								
136	274,26	12 660	17 943	18 351	22 944	23 760	27 965	29 191	198	357,94	22 327	30 216	30 810	37 551	38 740	44 903	46 686								
138	276,46	12 924	18 289	18 703	23 366	24 204	28 463	29 706	200	360,30	22 663	30 635	31 235	38 045	39 246	45 472	47 273								
140	278,66	13 190	18 638	19 058	23 790	24 630	29 096	30 224	202	362,66	23 000	31 056	31 662	38 542	39 754	46 044	47 863								
142	280,86	13 458	18 988	19 415	24 216	25 068	29 463	30 743	204	365,01	23 339	31 478	32 090	39 040	40 264	46 618	48 455								
144	283,06	13 727	19 341	19 773	24 644	25 508	29 966	31 264	206	367,37	23 680	31 903	32 521	39 540	40 776	47 193	49 042								
146	285,26	13 999	19 695	20 133	25 074	25 950	30 471	31 787	208	369,72	24 023	32 330	32 953	40 042	41 291	47 771	49 644								
148	287,46	14 272	20 051	20 496	25 505	26 394	30 979	32 312	210	372,08	24 368	32 758	33 388	40 547	41 807	48 351	50 242								
150	289,66	14 548	20 410	20 860	25 939	26 839	31 487	32 839	212	374,43	24 763	33 235	33 871	41 099	42 371	48 978	50 894								
152	291,84	14 825	20 770	21 226	26 375	27 287	31 998	33 368	214	376,79	25 065	33 621	34 263	41 561	42 845	49 517	51 444								
154	294,04	15 104	21 132	21 594	26 812	27 736	32 511	33 899	216	379,14	25 416	34 056	34 704	42 072	43 368	50 102	52 047								
156	296,24	15 385	21 495	21 963	27 251	28 188	33 026	34 432	218	381,50	25 769	34 492	35 147	42 584	43 892	50 690	52 653								
158	298,44	15 668	21 861	22 335	27 693	28 641	33 543	34 966	220	383,85	26 124	34 931	35 591	43 098	44 418	51 280	53 261								
160	300,64	15 953	22 229	22 709	28 137	29 096	34 061	35 503	222	386,21	26 481	35 372	36 039	43 614	44 946	51 872	53 871								
162	302,84	16 239	22 598	23 084	28 581	29 554	34 582	36 041	224	388,56	26 841	35 815	36 487	44 133	45 477	52 466	54 483								
164	305,04	16 528	22 970	23 462	29 028	30 012	35 104	36 582	226	390,92	27 202	36 259	36 937	44 653	46 009	53 062	55 097								
166	307,24	16 818	23 343	23 841	29 477	30 473	35 629	37 124	228	393,27	27 565	36 706	37 390	45 176	46 544	53 660	55 714								
168	309,44	17 110	23 718	24 222	29 928	30 936	36 155	37 668	230	395,63	27 930	37 155	37 845	45 700	47 080	54 260	56 331								
15 mm																									
170	324,98	17 847	24 569	25 079	30 846	31 866	37 140	38 672	232	397,98	28 297	37 605	38 301	46 226	47 610	54 862	56 951								
172	327,34	18 154	24 959	25 475	31 311	32 344	37 682	39 231	234	402,69	28 667	38 058	38 761	46 755	48 159	55 466	57 573								
174	329,68	18 463	25 351	25 873	31 779	32 824	38 225	39 792	236	405,34	29 038	38 513	39 221	47 285	48 702	56 072	58 197								
176	332,04	18 774	25 746	26 274	32 249	33 306	38 770	40 355	238	408,05	29 411	38 970	39 684	47 818	49 246	56 680	58 823								
178	334,40	19 087	26 142	26 676	32 721	33 789	39 317	40 921	240	407,40	29 786	39 428	40 148	48 352	49 792	57 290	59 451								
180	336,76	19 402	26 540	27 080	33 195	34 275	39 867	41 488	Gewicht der Gurtplatten kg											73,01	77,72	146,01	155,43	219,02	233,15

Tafel 7.

L 80.120.12

Nietstärke 23 mm

Stehblechstärke 12 mm

Gurtplatten 260.12 und 280.12.

Stehblech- höhe	g ₀ kg	W ₀ ccm	W ₁		W ₂	
			— 260.12	— 280.12	= 260.12	= 280.12
40	108,8	1601	2 528	2 624	3 483	3 675
42	110,7	1706	2 688	2 788	3 691	3 893
44	112,6	1813	2 849	2 955	3 901	4 113
46	114,4	1922	3 012	3 122	4 114	4 335
48	116,3	2032	3 177	3 292	4 328	4 559
50	118,2	2144	3 344	3 464	4 544	4 784
52	120,1	2258	3 512	3 637	4 761	5 012
54	121,9	2374	3 682	3 812	4 981	5 241
56	123,8	2491	3 854	3 988	5 202	5 472
58	125,7	2609	4 028	4 167	5 426	5 705
60	127,5	2730	4 203	4 347	5 650	5 939
62	129,4	2852	4 380	4 529	5 877	6 175
64	131,3	2975	4 559	4 712	6 105	6 413
66	133,2	3100	4 739	4 897	6 336	6 653
68	135,0	3227	4 921	5 084	6 567	6 894
70	136,9	3356	5 105	5 273	6 801	7 137
72	138,8	3486	5 290	5 463	7 036	7 382
74	140,7	3617	5 477	5 655	7 273	7 629
76	142,5	3751	5 666	5 848	7 511	7 877
78	144,4	3886	5 856	6 043	7 752	8 126
80	146,3	4022	6 048	6 240	7 993	8 378
82	148,1	4160	6 242	6 438	8 237	8 631
84	150,0	4300	6 437	6 638	8 482	8 886
86	151,9	4442	6 634	6 840	8 729	9 142
88	153,8	4585	6 832	7 043	8 978	9 400
90	155,6	4729	7 032	7 248	9 228	9 660
92	157,5	4876	7 234	7 455	9 479	9 921
94	159,4	5023	7 437	7 663	9 733	10 184
96	161,2	5173	7 642	7 873	9 988	10 449
98	163,1	5324	7 849	8 084	10 245	10 715
100	165,0	5477	8 057	8 297	10 503	10 983
102	166,9	5631	8 267	8 512	10 763	11 253
104	168,7	5787	8 479	8 728	11 025	11 524
106	170,6	5944	8 692	8 946	11 288	11 797
108	172,5	6103	8 907	9 166	11 553	12 071
110	174,4	6264	9 123	9 387	11 819	12 347
112	176,2	6427	9 341	9 610	12 087	12 625
114	178,1	6590	9 560	9 834	12 357	12 904
116	180,0	6756	9 782	10 060	12 628	13 185
118	181,8	6923	10 004	10 288	12 901	13 468
120	183,7	7092	10 229	10 517	13 176	13 752
122	185,6	7262	10 455	10 748	13 452	14 038
124	187,5	7434	10 683	10 980	13 730	14 325
126	189,3	7608	10 912	11 214	14 009	14 614
128	191,2	7783	11 143	11 450	14 290	14 905
130	193,1	7960	11 375	11 687	14 573	15 197
132	194,9	8138	11 609	11 926	14 857	15 491
134	196,8	8318	11 845	12 167	15 143	15 787
136	198,7	8500	12 082	12 409	15 431	16 084
138	200,6	8683	12 321	12 652	15 720	16 383
140	202,4	8867	12 562	12 898	16 011	16 683
Gewicht der Gurtplatten kg			48,98	52,75	97,96	103,50

Tafel 8.

Aenderung ΔW des Widerstandsmomentes bei einer Aenderung der Stehblechstärke von 1 mm bei 1 bis 3 Gurtplatten.

<i>h</i> cm	Plattenstärke mm			<i>h</i> cm	Plattenstärke mm			<i>h</i> cm	Plattenstärke mm			<i>h</i> cm	Plattenstärke mm			<i>h</i> cm	Plattenstärke mm			<i>h</i> cm	Plattenstärke mm		
	12	24	36		12	24	36		13	26	39		13	26	39		15	30	45		15	30	45
30	14	13	12	100	164	159	156	60	58	55	53	130	276	271	265	120	234	229	223	190	592	583	574
32	16	15	14	102	170	166	162	62	62	59	57	132	285	279	274	122	242	236	231	192	605	596	587
34	18	17	16	104	176	172	169	64	66	63	61	134	294	288	283	124	250	244	239	194	618	608	600
36	20	19	18	106	183	179	175	66	70	67	65	136	303	297	291	126	258	252	247	196	631	621	612
38	23	21	20	108	190	186	182	68	74	72	69	138	312	306	300	128	267	261	255	198	644	634	625
40	25	24	23	110	197	193	189	70	79	76	74	140	321	315	309	130	276	270	264	200	657	647	638
42	28	26	25	112	205	201	196	72	83	81	78	142	330	324	318	132	284	279	272	202	670	660	651
44	31	29	28	114	212	208	204	74	88	85	83	144	340	334	328	134	293	287	280	204	684	674	664
46	34	32	31	116	220	215	211	76	93	90	87	146	349	343	337	136	302	296	289	206	697	687	678
48	37	35	33	118	227	223	219	78	98	95	92	148	359	353	347	138	311	304	298	208	711	701	691
50	40	38	36	120	235	231	226	80	103	100	97	150	369	363	356	140	320	313	307	210	725	715	705
52	43	41	40	122	243	239	234	82	109	105	102	152	379	372	366	142	329	322	316	212	739	728	719
54	47	45	43	124	251	247	242	84	114	111	108	154	389	382	376	144	338	332	325	214	753	742	732
56	50	48	46	126	260	255	250	86	120	116	113	156	399	393	386	146	348	341	335	216	767	757	746
58	54	52	50	128	268	263	259	88	125	122	119	158	410	403	397	148	358	351	344	218	781	771	760
60	58	56	54	130	277	272	267	90	131	128	124	160	420	413	407	150	368	361	354	220	796	785	775
62	62	60	58					92	137	134	130	162	431	424	417	152	378	370	364	222	811	800	790
64	66	64	61					94	143	140	136	164	442	435	428	154	388	380	373	224	825	814	804
66	70	68	66					96	150	146	142	166	453	445	439	156	398	391	383	226	840	829	819
68	74	72	70					98	156	152	148	168	464	456	450	158	408	401	394	228	855	844	834
70	79	76	74					100	162	158	155	170	475	467	461	160	419	411	404	230	870	859	848
72	84	81	79					102	169	165	161	172	486	479	472	162	429	422	414	232	886	874	863
74	88	86	83					104	176	172	168	174	498	490	483	164	440	432	425	234	901	890	879
76	93	91	88					106	183	179	174	176	509	501	494	166	451	443	436	236	917	905	894
78	98	96	93					108	190	186	181	178	521	513	506	168	462	454	447	238	932	921	910
80	104	101	98					110	197	193	188	180	533	525	518	170	473	465	458	240	948	937	925
82	109	106	103					112	204	200	196	182	545	537	529	172	485	476	469				
84	114	111	108					114	212	207	203	184	557	549	541	174	496	488	480				
86	120	117	114					116	220	215	210	186	569	561	553	176	508	499	491				
88	126	122	119					118	227	222	217	188	582	573	566	178	519	511	503				
90	132	128	125					120	235	230	225	190	594	586	578	180	531	523	514				
92	138	134	131					122	243	238	233	192	607	598	590	182	543	535	526				
94	144	140	137					124	251	246	241	194	620	611	603	184	555	546	538				
96	150	146	143					126	259	254	249	196	633	624	616	186	567	558	550				
98	156	153	149					128	268	262	257	198	646	637	629	188	580	571	562				

Tafel 9.

Die von den Tafelwerten W abzuziehende Korrektur ΔW für den Fall, daß in jedem Gurt 3 Nietlöcher abgezogen werden.

h	$L\ 120.120.13$			h	$L\ 120.120.13$			h	$L\ 130.130.14$			h	$L\ 130.130.14$			h	$L\ 140.140.15$			h	$L\ 140.140.15$		
	-13	=13	≡13		-13	=13	≡13		-13	=13	≡13		-13	=13	≡13		-15	=15	≡15		-15	=15	≡15
60	344	331	318	120	918	899	887	80	617	598	581	140	1294	1271	1249	120	1125	1099	1073	180	1848	1818	1789
62	363	349	336	122	937	918	899	82	638	619	601	142	1316	1293	1270	122	1148	1121	1096	182	1871	1841	1812
64	382	367	354	124	957	937	919	84	658	639	621	144	1338	1314	1292	124	1171	1144	1118	184	1894	1865	1836
66	400	386	372	126	976	957	938	86	678	659	641	146	1359	1336	1313	126	1194	1166	1140	186	1918	1888	1859
68	419	404	390	128	995	976	958	88	699	679	661	148	1381	1357	1335	128	1216	1189	1163	188	1941	1911	1882
70	438	423	409	130	1015	995	977	90	719	699	681	150	1403	1379	1356	130	1239	1211	1185	190	1964	1934	1905
72	457	442	428	132	1034	1015	996	92	739	719	701	152	1424	1401	1378	132	1261	1234	1208	192	1988	1957	1928
74	476	461	446	134	1054	1034	1015	94	760	739	721	154	1446	1422	1400	134	1284	1257	1230	194	2011	1981	1951
76	494	479	465	136	1073	1054	1034	96	780	760	741	156	1468	1444	1421	136	1307	1279	1253	196	2034	2004	1975
78	513	497	483	138	1092	1073	1054	98	801	780	762	158	1490	1466	1443	138	1329	1302	1275	198	2057	2027	1998
80	532	516	501	140	1111	1150	1130	100	821	801	782	160	1511	1487	1464	140	1352	1324	1298	200	2081	2050	2021
82	551	535	520	142	1131	1170	1150	102	842	821	802	162	1533	1509	1486	142	1375	1347	1320	202	2104	2074	2044
84	571	554	539	144	1212	1190	1170	104	862	842	822	164	1555	1531	1508	144	1398	1370	1343	204	2127	2097	2067
86	590	574	558	146	1233	1211	1190	106	883	862	843	166	1576	1553	1530	146	1420	1392	1365	206	2151	2120	2091
88	609	592	578	148	1253	1232	1211	108	903	883	863	168	1599	1574	1551	148	1443	1415	1388	208	2173	2144	2114
90	628	611	595	150	1274	1252	1232	110	924	903	883	170	1620	1596	1572	150	1466	1437	1410	210	2197	2167	2137
92	647	630	614	152	1294	1273	1252	112	944	924	903	172	1642	1617	1594	152	1488	1460	1433	212	2221	2190	2160
94	666	649	633	154	1315	1293	1273	114	965	944	924	174	1663	1639	1616	154	1511	1483	1455	214	2244	2213	2184
96	686	668	652	156	1335	1314	1293	116	985	965	944	176	1685	1660	1638	156	1534	1505	1478	216	2267	2237	2207
98	705	688	671	158	1356	1334	1314	118	1006	985	965	178	1707	1682	1659	158	1557	1528	1501	218	2291	2260	2230
100	724	706	690	160	1376	1355	1334	120	1027	1006	985	180	1728	1704	1681	160	1579	1550	1523	220	2314	2283	2253
102	743	725	708	122	1100	1077	1056	182	1047	1027	1006	182	1750	1725	1703	162	1602	1573	1546	222	2337	2306	2276
104	763	744	727	124	1121	1099	1077	184	1121	1099	1077	184	1772	1747	1724	164	1625	1596	1568	224	2361	2330	2299
106	782	764	746	126	1143	1120	1098	186	1143	1120	1098	186	1794	1769	1745	166	1648	1619	1591	226	2384	2353	2323
108	801	783	766	128	1164	1142	1119	188	1164	1142	1119	188	1815	1791	1767	168	1670	1641	1614	228	2407	2376	2346
110	821	802	784	130	1186	1163	1141	190	1186	1163	1141	190	1837	1813	1789	170	1731	1702	1673	230	2430	2400	2369
112	840	822	803	132	1208	1185	1162	192	1208	1185	1162	192	1859	1834	1811	172	1755	1725	1697	232	2454	2423	2392
114	859	841	823	134	1229	1207	1184	194	1229	1207	1184	194	1881	1856	1832	174	1778	1748	1720	234	2477	2446	2416
116	879	860	842	136	1251	1228	1207	196	1251	1228	1207	196	1902	1878	1854	176	1801	1772	1743	236	2500	2469	2439
118	898	880	861	138	1272	1250	1228	198	1272	1250	1228	198	1924	1900	1876	178	1825	1795	1766	238	2524	2492	2462
								200					1946	1921	1897					240	2547	2516	2486

Tafel 10.

Das Trägheitsmoment des 1 mm starken Stehbleches.

<i>h</i>	<i>J</i>	<i>h</i>	<i>J</i>	<i>h</i>	<i>J</i>	<i>h</i>	<i>J</i>	<i>h</i>	<i>J</i>
40	533	82	4 595	122	15 132	162	35 429	202	68 687
42	617	84	4 939	124	15 889	164	36 758	204	70 747
44	710	86	5301	126	16 670	166	38 119	206	72 849
46	811	88	5680	128	17 476	168	39 514	208	74 991
48	922	90	6 075	130	18 383	170	40 942	210	77 175
50	1 042	92	6 489	132	19 166	172	42 404	212	79 402
52	1 172	94	6 922	134	20 051	174	43 900	214	81 670
54	1 312	96	7 373	136	20 962	176	45 432	216	83 981
56	1 464	98	7 843	138	21 901	178	46 998	218	86 335
58	1 626	100	8 333	140	22 867	180	48 600	220	88 733
60	1 800	102	8 843	142	23 861	182	50 239	222	91 176
62	1 986	104	9 374	144	24 883	184	51 913	224	93 662
64	2 185	106	9 925	146	25 935	186	53 624	226	96 193
66	2 396	108	10 498	148	27 015	188	55 372	228	98 770
68	2 620	110	11 092	150	28 125	190	57 158	230	101 392
70	2 858	112	11 708	152	29 265	192	58 982	232	104 060
72	3 110	114	12 346	154	30 436	194	60 845	234	106 774
74	3 377	116	13 008	156	31 637	196	62 746	236	109 536
76	3 653	118	13 692	158	32 869	198	64 687	238	112 344
78	3 955	120	14 400	160	34 133	200	66 667	240	115 200
80	4 267								

Nietabzug nur im Zuggurt. Nicht üblich, obwohl der sonstigen Brückenbaupraxis entsprechend als erlaubt anzusehen. Der Gewinn an Widerstandsmoment wegen der Verschiebung der neutralen Achse gering, bei Gurtplatten und zwei Nietlöchern im Mittel $2\frac{1}{2}$ vH. Mit demselben Materialaufwand erreicht man einen mehrmals größeren Zuwachs an Widerstandsmoment, wenn der Obergurt um die Hälfte der sonst abgezogenen Lochquerschnitte verkleinert und der Untergurt um denselben Betrag vergrößert wird.

Gurtniete (Abb. 23).

Nietdurchmesser nach der Stärke der Winkelschenkel und Gurtplatten bemessen.

Nietentfernung: Für die Niete I ist e meistens $= 6d$, sofern die statische Berechnung keine engere Teilung verlangt. In der Trägermitte, wo die Querkkräfte gering sind, hat man auch weitere Teilung ausgeführt, aber auch engere.

Die Niete II werden in der Regel wie in Abb. 23 gesetzt. Sie werden sehr wenig beansprucht, weshalb es bei besonders enger Nietteilung zulässig ist, sie nur in jedem zweiten Zwischenraume anzubringen.

Abb. 23.



Berechnung der Niete I. Die gesamte, in einem Gurtquerschnitt auftretende Zug- bzw. Druckkraft ist $M \cdot \frac{S}{J}$. Hier ist S das statische Moment des Querschnittes eines durch diese Niete angeschlossenen Gurtes in bezug auf die Schwerachse des Gesamtquerschnittes, J das Trägheitsmoment des Gesamtquerschnittes.

$$\text{Nietkraft: } N = \Delta M \cdot \frac{S}{J} = Q \cdot e \cdot \frac{S}{J}.$$

Bei der Berechnung von $\frac{S}{J}$ soll man mit den vollen Querschnitten ohne Nietabzug rechnen.

Näherungsweise kann man nach Vianello⁸⁾ $\frac{S}{J}$ durch $\frac{G}{W}$ ersetzen, wo G der Querschnitt eines angeschlossenen Gurtes und W das Widerstandsmoment des Gesamtquerschnittes ist. Hier empfiehlt es sich, mit Nietabzug zu rechnen.

Querschnitt (Abb. 21) ohne Gurtplatten:

$S = 2 \cdot 22,7 \cdot 42,1 = 1908 \text{ cm}^2$; $J = 234\,662 \text{ cm}^4$, demnach $\frac{S}{J} = \frac{1}{123}$. (Bei Anwendung der Querschnitte mit Nietabzug erhielte man $\frac{S}{J} = \frac{1}{132}$; während in der empfohlenen Annäherungsformel $\frac{G}{W} = \frac{39,88}{4641} = \frac{1}{116}$; also etwas ungünstiger als der erste Wert.)

Mit einer Gurtplatte erhält man (ohne Nietabzug):

$\frac{S}{J} = \frac{3224}{354\,160} = \frac{1}{110}$; dagegen nach der Annäherungsformel $\frac{G}{W} = \frac{63,18}{6800} = \frac{1}{107,5}$.

Bei der Nietberechnung kommt meistens nur der Lochleibungsdruck σ_l in Betracht.

Die mit Rücksicht auf die Beanspruchung erlaubte Nietteilung ergibt sich zu

$$e = \frac{N_{\text{zulässig}}}{Q} \cdot \frac{J}{S} = \frac{\sigma_l \cdot d \cdot \delta}{Q} \cdot \frac{J}{S}$$

oder angenähert

$$e = \frac{\sigma_l \cdot d \cdot \delta}{Q} \cdot \frac{G}{W}.$$

Hierbei in der Regel $\sigma_l = \text{doppelte Scherspannung} = 1,8 \sigma_z$.

Man kann recht genau setzen:

$$\frac{J}{S} = h' + \frac{F_s}{G} \cdot \frac{h_s}{6},$$

wo h_s Stehblechhöhe, h' die Entfernung der Gurtschwerpunkte (kann hinreichend genau geschätzt werden), F_s Querschnitt des Stehbleches, G Querschnitt einer Gurtung, beide ohne Nietabzug.

Man erhält:

$$e = \frac{\sigma_l \cdot d \cdot \delta}{Q} \cdot \left(h' + \frac{F_s}{G} \cdot \frac{h_s}{6} \right),$$

woraus folgt, daß bei gleichbleibender Querkraft und Gurtquerschnitt die Nietteilung mit der Trägerhöhe stark abnimmt.

Unregelmäßigkeiten: Die Formeln zur Benutzung der Nietbeanspruchung bzw. der Nietteilung treffen bei plötzlichen Querschnittänderungen des angeschlossenen Gurtes nicht mehr zu. Wenn die Gurte oder einzelne Teile derselben nicht bis zum Trägerende reichen, muß die Zahl der Niete so bemessen werden, daß die Gurtkräfte auf den in Betracht kommenden Strecken auch auf das Stehblech sicher übertragen werden.

also nach den Preussischen Brückenbauvorschriften

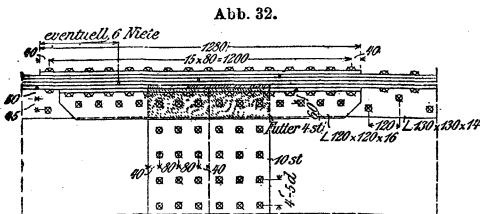
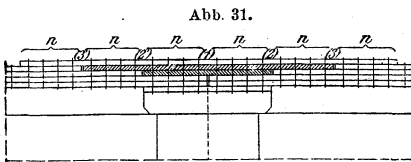
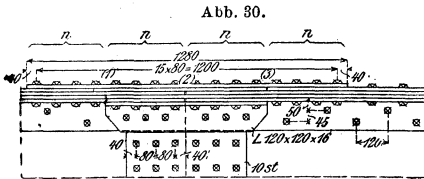
$$n = \frac{10}{9} \cdot \frac{F_p}{F_n} = \frac{1,415 \cdot F_p}{d^2} \quad \text{oder}$$

für $d = 20$ bzw. 26 mm
 $n = 0,344 F_p$ $0,267 F_p$ „ $0,209 F_p$.

Es ist hierbei unter Berücksichtigung aller Verhältnisse zulässig, mit dem durch die Nietlöcher verkleinerten Querschnitt F_p zu rechnen.

Die Stossanordnung der Platten in Abb. 30 ist dieselbe wie in Abb. 27. Die Anordnung nach Abb. 31 hat für die Montage den Vorteil, daß kein Teil des Trägers über den theoretischen Stofsquerschnitt hinausragt und ist in bezug auf die Kraftübertragung klarer als die Anordnung nach Abb. 27 u. 30. Sie kommt nur für Montagestöße in Betracht. Nachteilig ist der große Aufwand an Laschenmaterial, sowie die entsprechend größere Anzahl der auf der Baustelle zu schlagenden Niete.

Als Mittelweg zwischen Abb. 30 einerseits und Abb. 31 ohne Ausführung der Plattenstöße 2' und 3' andererseits wird empfohlen, die



Winkeleisen die zulässige Grenze nicht erreicht, ist diese Berechnung etwas ungünstig.

Nietzahl links von (1) in den Abb. 28 u. 31 um 50 vH zu erhöhen, also 1,5 n Niete dort anzubringen (vgl. Abb. 33).

Stofs der Winkeleisen. Als Decklaschen am besten Winkeleisen, deren Rücken der Rundung des zu stossenden Winkels gemäß zu bearbeiten sind, oft hierbei Vorprofile erforderlich.

Bei Decklaschen (Abb. 29) ist zu beachten, daß man, auch wenn man im Winkeleisen nur ein Niet abzieht, in jeder Decklasche ein Niet abziehen muß, weshalb diese Stofsdeckung dann ungünstiger ist als die nach Abb. 28.

Bemessung der Nietzahl wie bei den Gurtplatten.

Da die durchschnittliche Spannung der

Abb. 30 u. 31 zeigen Universalstöße, wo der Stehblechstofs ohne Einfluss auf die Stofsausbildung des Gurtes ist.

Abb. 33 zeigt eine Anordnung mit Stehblechdecklaschen in voller Höhe.

Berechnung:

$L \ 130.130.14$, $F_{\text{netto}} = 31,1 \text{ qcm}$; Decklaschen $L \ 120.120.16$ (Vorprofil!) mit $F' = 35,95 - 1,6.2,6 = 31,8 \text{ qcm}$. Zahl der Stofsniete: $n = 0,209.31,1 = 6,5$, also 7. Für die Gurtplatte: $n = 0,209(30 - 5,2).1,4 = 7,3$, also 8. In Abb. 32 wurden auch in der Winkellasche acht Niete angebracht. Um nicht zwei Decklaschen von 14 mm Stärke anbringen zu müssen, ist zwischen dem Deckwinkel und der Lasche ein Futter angebracht.

Stofs des Stehbleches. Verschiedene Stofsanordnungen zeigen die Abb. 33 bis 35. Auf jeder Seite der Stofsuge nach Erfordernis zwei bis vier senkrechte Nietreihen.

Abb. 33.

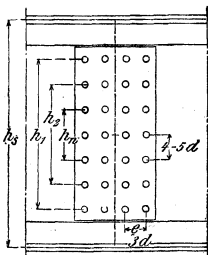


Abb. 34.

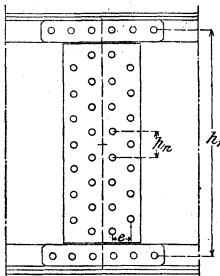
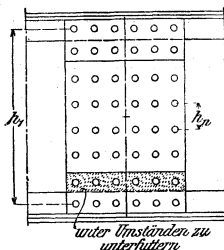


Abb. 35.



Die Horizontalentfernung der Nietreihen wähle man $3d$ oder, wenn die Niete nach Abb. 34 gegeneinander versetzt sind, auch enger. Die senkrechte Entfernung der Niete nicht zu klein, um das Stehblech nicht zu sehr zu schwächen, etwa $4d$ bis $5d$. Die verschiedenen Nietanordnungen sind in Abb. 33 bis 40 angegeben.

Stärke der Decklaschen 10 mm, ausnahmsweise 8, bei sehr starken Stehblechen auch 12 mm.

Berechnung:

Der Anteil des Gesamtmomentes M , der vom Stehblech übertragen wird, ist M_s .

$$M_s = M \cdot \frac{J_s}{J} = M \cdot \frac{\delta \cdot h^3}{12 \cdot J} = \frac{\delta \cdot h_s^2}{6} \cdot \sigma'.$$

In dem letzten Ausdruck ist

$$\sigma' = \frac{M \cdot h_s}{2J} = \frac{M}{W} \cdot \frac{h_s}{h}.$$

Hierbei ist üblich, J mit Nietabzug im Gurt, aber ohne Nietabzug im Stehblech zu berechnen.

Nietbeanspruchung infolge des Momentes M_s . Man berechnet die Beanspruchung in einer Reihe auf jeder Seite des Stofses und nimmt an, dass sie bei n gleichen Reihen $\frac{1}{n}$ mal so groß ist (als ungünstige Annahme zulässig).

Unter der Voraussetzung, daß die Nietbeanspruchung proportional den Entfernungen von der neutralen Achse ist, hat man für das am ungünstigsten beanspruchte äußerste Niet (Abb. 36) $N_1 = \frac{M_s \cdot h_1}{\Sigma \cdot h^2}$. Bei Bildung der Größe $\Sigma \cdot h^2$ kann man sich sämtliche Niete horizontal in die erste Reihe hineingerückt denken.

Bei großen Querkraften setzt man die horizontale Kraft N_1 zusammen mit dem auf dieses Niet entfallenden senkrecht wirkenden Anteil der Querkraft.

Setzt man
$$\frac{h_1^2}{\Sigma h^2} = f,$$

so erhält man
$$\frac{M_s \cdot h_1}{\Sigma h^2} = N_1 = \frac{M_s \cdot f}{h_1},$$

und die Beanspruchung dieses Nietes auf Lochleibungsdruck wird

$$\sigma_l = \frac{M_s \cdot f}{h_1 \cdot d \cdot \delta}.$$

Die Größen f können für die verschiedenen Nietanordnungen der folgenden Tabelle entnommen werden:¹¹⁾

Tafel 11.

Anzahl der Niete in der ersten Reihe n	Einreihige Ver-nietung $f = \frac{\sigma(n-1)}{n(n+1)}$	Zweireihige Ver-nietung $f = \frac{\sigma(n-1)}{n(2n-1)}$	Dreireihige Ver-nietung $f = \frac{2(n-1)}{n^2}$	Vierreihige Ver-nietung $f = \frac{3(n-1)}{n(2n-1)}$
4	0,900	0,643	0,375	0,322
5	0,800	0,533	0,320	0,267
6	0,714	0,455	0,278	0,227
7	0,643	0,396	0,249	0,198
8	0,583	0,350	0,219	0,175
9	0,533	0,314	0,198	0,157
10	0,491	0,284	0,180	0,142
11	0,455	0,260	0,165	0,130
12	0,423	0,239	0,153	0,120
13	0,396	0,222	0,142	0,111
14	0,371	0,206	0,133	0,103
15	0,350	0,193	0,124	0,097
16	0,331	0,181	0,117	0,091
17	0,314	0,171	0,111	0,086
18	0,298	0,162	0,105	0,081
19	0,284	0,153	0,100	0,077
20	0,271	0,146	0,095	0,073
21	0,260	0,139	0,0907	0,070
22	0,249	0,132	0,0868	0,066
23	0,239	0,128	0,0832	0,064
24	0,230	0,122	0,0799	0,061

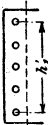


Abb. 36.

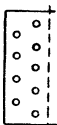


Abb. 37.

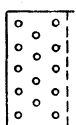


Abb. 38.

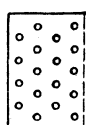


Abb. 39.

¹¹⁾ Vgl. Dirksen, Hilfswerte für das Entwerfen und die Berechnung von Brücken mit eisernem Unterbau. Berlin, Ernst & Sohn.

Annäherungsformel zur Bestimmung der erforderlichen Nietzahl auf der einen Seite des Stoßes:¹²⁾

$$n = \frac{\sigma' \cdot \delta h_s^2}{N \cdot h_1} - 2.$$

h_s Stehblechhöhe, σ' Randspannung des Stehbleches, N Tragkraft eines Nietes, i. d. R. $= d \cdot \delta \cdot \sigma_t$.

Schwächung des Stehbleches durch eine senkrechte Nietreihe. Die Verminderung des Trägheitsmomentes beträgt

$$\Delta J = \frac{d \cdot \delta}{2} \Sigma h^2 \quad (\text{Abb. 33}),$$

der Verlust an Widerstandsmoment für den Gesamtquerschnitt

$$\Delta W = \frac{2 \Delta J}{h},$$

wo h gesamte Trägerhöhe.

Stehen die Niete der Reihe alle in gleicher Entfernung, so ist

$$\Sigma h^2 = \frac{h_1^2}{f},$$

wo f der ersten Spalte der obigen Tabelle zu entnehmen ist, und

$$\Delta W = \frac{d \cdot \delta \cdot h_1^2}{f \cdot h}.$$

Zahlenbeispiel (Abb. 40 u. 41):

Hauptträger nebenstehenden Querschnittes einer zweigleisigen Eisenbahnbrücke von 15 m Stützweite, Blechträgerstöße 5 m von den Auflagerpunkten. An der Stoßstelle ist $M_g = 52,5$ tm, $M_p = 221,6$ tm, $M = 274,1$ tm. $M_{\max} = 303,3$ tm, erforderliches Widerstandsmoment in der Mitte $W = 35700$ cem.

Im gewählten Querschnitt ist

$$W_2 = 29698; \quad W_3 = 36155 \text{ cem.}$$

Annäherungsweise ist (S. 989) die Länge der dritten Gurtplatte

$$l_3 = 0,12 \cdot 15 + 0,88 \cdot 15 \sqrt{1 - \frac{29698}{35700}} = 7,22 \text{ m,}$$

reicht also erheblich über die Stoßstelle hinweg.

Die Spannung im Stehblech ist

$$\sigma' = \frac{27410000}{36155} \cdot \frac{168}{177} = 721 \text{ kg/qcm.}$$

$$M_s = \frac{\delta \cdot h_s^2 \cdot \sigma'}{6} = \frac{1,4 \cdot 168^2 \cdot 721}{6} = 4760000 \text{ kgcm} = 47,6 \text{ tm.}$$

Zulässige Kraft auf ein Niet

$$N_{\text{zul.}} = 2 \cdot 0,9 \cdot 850 \cdot 2,6 \cdot 1,4 = 5569 \text{ kg.}$$

Laschenhöhe 139 oder 140 cm und $h_1 = 131$ cm angenommen.

Nach der Annäherungsformel (s. oben) ist die erforderliche Anzahl der Niete auf jeder Seite der Stoßfuge

$$n = \frac{\sigma' \cdot \delta h_0^2}{N \cdot h_1} - 2 = \frac{721 \cdot 1,4 \cdot 168^2}{5569 \cdot 131} - 2 = 37.$$

Es wird gewählt

1. entweder drei gleiche Reihen je 13 Niete, Nietentfernung ~ 109 mm, oder
2. drei Reihen nach Abb. 38.

Abb. 40.

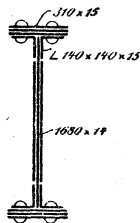


Abb. 41.



¹²⁾ Otzen, Anhang zu Zahlenbeispielen usw., Wiesbaden 1909, C. W. Kreidels Verlag.

Die Beanspruchung der äußersten Niete kann nun mit Hilfe der Tabelle S. 1005 berechnet werden.

Im ersten Falle wird

$$\sigma_l = \frac{\frac{1}{3} \cdot 47,6 \cdot 0,396}{131 \cdot 2,6 \cdot 1,4} = 1315 \text{ kg/qcm},$$

im zweiten Falle

$$\sigma_l = \frac{47,6 \cdot 0,142}{131 \cdot 2,6 \cdot 1,4} = 1415 \text{ kg/qcm}.$$

Zulässig ist

$$1,8 \cdot 850 = 1530 \text{ kg/qcm}.$$

Die Verkleinerung des Widerstandsmomentes des Trägerquerschnittes durch die senkrechte Nietreihe in der Lasche beträgt

$$\Delta W = \frac{d \cdot \delta \cdot h_1^2}{f \cdot h},$$

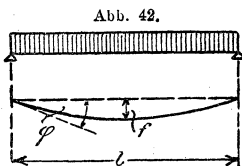
wo f der ersten Reihe der Tabelle 11 zu entnehmen ist, also

$$\Delta W = \frac{2,6 \cdot 1,4 \cdot 131^2}{0,396 \cdot 177} = 893 \text{ cm}$$

= $2\frac{1}{2}$ vH des Gesamt Widerstandsmomentes, ein Betrag, der bei der großen überschüssigen Tragfähigkeit an dieser Stelle in diesem Falle nicht in Betracht kommt. Bei Trägern ohne Gurtplatten erreicht ΔW leicht etwa 6 vH vom W .

Durchbiegungen, Winkeländerungen und Längenänderungen des Untergurtes vollwandiger Träger infolge der Spannungen.

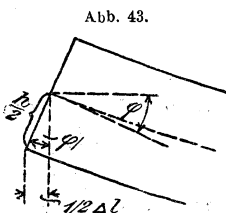
Bei Eisenbahnbrücken wird i. d. R. eine von der beweglichen Belastung allein herrührende Durchbiegung $f = \frac{l}{1200}$ bis $\frac{l}{1000}$ gestattet. Je kleiner die Spannweite ist, desto größer wird im allgemeinen der Wert f und desto mehr Rücksicht ist auf die Durchbiegung zu nehmen.



Bei Straßenbrücken wird man oft insbesondere bei Längsträgern des Fahrbahngerüppes aus fertig gewalzten Trägern größere Durchbiegungen gestatten können.

Formeln für Träger auf zwei Stützen. Auflagerdruck, größte Biegemomente und Durchbiegung s. I. Bd. S. 564 u. f.

a) gleichmäßig verteilte Belastung (Abb. 42 u. 43).



1. J konstant ohne Rücksicht auf Scheerenspannung

$$f = \frac{5}{384} \frac{p l^4}{EJ} = \frac{5}{48} \frac{M l^3}{EJ};$$

$$\varphi = \frac{p l^3}{24 EJ} = \frac{M l}{3 EJ};$$

$$\Delta l = h \varphi = \frac{M l h}{3 EJ}.$$

2. J abgestuft wie bei Blechträgern

$$f \sim \frac{5,5}{48} \frac{M l^3}{EJ}.$$

3. Die von den Scheerspannungen herrührende hinzukommende Durchbiegung beträgt

$$f' = \frac{M}{F_s \cdot G}.$$

Dieser Ausdruck gilt auch für b) und c).

M ist Maximalmoment, F_s die Stegfläche. Mit $G = 0,4 E$ ergibt sich: $f' = f \cdot \frac{24 J}{l^2 F_s}$ und bei abgestuftem J (Blechträger, Gurtplatten) angenähert $f' = f \cdot \frac{22 J}{l^2 F_s}$. Rechnet man annäherungsweise mit dem Nettoquerschnitt, so ergibt sich

$$\frac{f'}{f} \sim \frac{12 W}{l^2 \delta}, \text{ wo } \delta \text{ Stegstärke.}$$

Hieraus ist ersichtlich, daß bei niedrigen Trägern, wo noch dazu wegen Durchbiegung Spannungsreduktion erforderlich, der Anteil f' an der Gesamtdurchbiegung ($f' + f$) zunimmt. Meistens $f' = 0,1 f$ bis $0,2 f$.

b) Einzellast in der Mitte $q = Pl^2 : 16 EJ$.

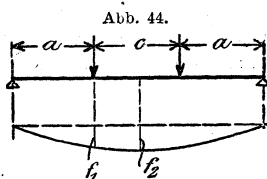
c) Zwei symmetrische Einzellasten (Querträger, J konstant (Abb. 44)

$$f_1 = \frac{Pa^2}{EJ} \left(\frac{a}{3} + \frac{c}{2} \right);$$

$$f_2 = \frac{Pa}{EJ} \left(\frac{a^2}{3} + \frac{ac}{2} + \frac{c^2}{8} \right);$$

$$q = \frac{Pa}{2 EJ} (a + c);$$

$$\Delta l \text{ (Abb. 43)} = \frac{Pa h}{2} (a + c).$$



Unter Umständen zu beachten bei Endquerträgern.

Bestimmung der erforderlichen Trägerhöhen. Aus der Formel

$$f = \frac{5}{384} \frac{p l^4}{EJ}$$

ergibt sich

$$f = \frac{5}{24} \cdot \frac{p}{q} \cdot \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{l^3}{h}$$

bzw. für Blechträger mit mehreren nicht zum Trägerende gehenden Gurtplatten

$$f = \frac{5,5}{24} \cdot \frac{p}{q} \cdot \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{l^3}{h} \quad ^{13)}$$

Bei einer größeren Anzahl Einzellasten setzt man genau genug

$$f = \frac{5}{24} \cdot \frac{Mp}{Mp + Mg} \cdot \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{l^3}{h} \quad \text{bzw.} \quad \frac{5,5}{24} \quad \text{usw.}$$

¹³⁾ Müller-Breslau, Vorlesungen.

Diese Formeln berücksichtigen nicht die Scherspannungen, setzen dafür aber Nietabzug voraus. Man kann genau genug annehmen, daß die Einflüsse dieser beiden Fehlerquellen sich aufheben, so daß die Formeln richtig sind. Nur bei sehr niedrigen Trägern kann der Einfluß der Scherspannungen den der Nietlöcher beträchtlich überwiegen.

Man erhält

$$\frac{l}{f} = \frac{24}{5} \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \cdot \frac{E}{\sigma} \cdot \frac{h}{l} \quad \text{bzw.} \quad \frac{24}{5,5} \quad \text{usw.};$$

dieser Wert soll ≥ 1100 sein.

$$\text{Ferner} \quad \frac{l}{h} = \frac{24}{5} \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \cdot \frac{E}{\sigma} \cdot \frac{f}{l};$$

setzt man hier $\frac{f}{l} = \frac{1}{1100}$, so erhält man das größte zulässige Verhältnis $\frac{l}{h}$, und zwar

$$\frac{l}{h} = 9380 \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp \cdot \sigma} = c_1 \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \quad (\text{für unveränderliches } J)$$

und

$$\frac{l}{h} = 8530 \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} = c_2 \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \quad (\text{für abgestuftes } J).$$

Für	$\sigma = 750$	800	850	900	950	1000 kg/qcm
erhält man	$c_1 = 12,5$	11,73	11,03	10,43	9,88	9,38
	$c_2 = 11,37$	10,66	10,03	9,47	8,98	8,53

Mit Hülfe dieser Zahlen und des Ausdrucks

$$h = \frac{l}{c} \cdot \frac{Mp}{Mp + Mg}$$

bestimmt man die erforderliche Höhe.

Ferner erhält man aus den vorhergehenden Formeln

$$\sigma = \frac{24}{5} \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \cdot \frac{E}{\sigma} \cdot \frac{f}{l} \cdot \frac{h}{l} \quad \text{bzw.} \quad \frac{24}{5,5} \quad \text{usw.}$$

Mit $\frac{f}{l} = \frac{1}{1100}$ erhält man

$$\sigma = 9380 \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \cdot \frac{h}{l} = c_3 \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \quad (\text{für unveränderliches } J)$$

$$\sigma = 8530 \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \cdot \frac{h}{l} = c_4 \cdot \frac{Mp + Mg}{Mp} \quad (\text{für abgestuftes } J).$$

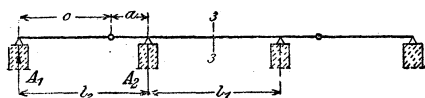
Für	$\frac{h}{l} = \frac{1}{9}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{17}$	$\frac{1}{18}$
wird	$c_3 = 1043$	938	858	782	722	670	625	586	552	521
und	$c_4 = 947$	853	775	711	656	610	569	533	502	479

Beide Forderungen sind oft nicht gleichzeitig erfüllbar. Die zweite ist meist die wichtigere.

γ) Formeln. Für den Fall einer gleichmäßig verteilten beweglichen Belastung p und mit der Bezeichnung $q = p + g$:

$$\text{Abb. 45. } \max M_3 = \frac{q l_1^3}{8} \left(l - \frac{g}{q} \cdot \frac{a(a+c)}{l_1^2} \right)^2;$$

Abb. 46.



$$\min M_2 = -\frac{q}{2} \cdot a(a+c).$$

Das Verhältnis $\frac{a}{l_1}$, für welches $\max M_3 = -\min M_2$, wird, durch Ausprobieren gefunden.

Damit keine negativen Auflagerdrücke entstehen, muß

$$a(a+c) < l_1^2 \frac{g}{q} \text{ sein.}$$

Abb. 47.

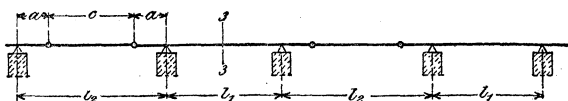
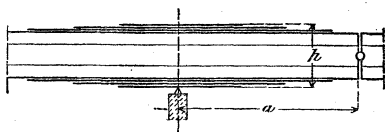


Abb. 48.



$$\text{Abb. 46 u. 47. } \max M_3 = \frac{q \cdot l_1^3}{8} - \frac{g}{2} \cdot a(a+c);$$

$\min M_2$ wie oben.

Soll $\max M_3 = -\min M_2$, muß $a(a+c) = \frac{q}{q+g} \cdot \frac{l_1^3}{4}$ sein. Hieraus

$$\frac{a}{l_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{l_2}{l_1} - \sqrt{\left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 - \frac{p+g}{p+2g}} \right).$$

Demnach sich ergebende Werte $\frac{a}{l_1}$, für verschiedene Verhältnisse

$\frac{p}{g}$ und $\frac{l_2}{l_1}$:

$\frac{p}{g}$	4	3	2	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0
$\frac{l_2}{l_1} = 1$	0,296	0,276	0,250	0,211	0,198	0,184	0,167	0,146
$\frac{l_2}{l_1} = 1,2$	0,210	0,200	0,185	0,160	0,152	0,142	0,130	0,115
$\frac{l_2}{l_1} = 1,4$	0,169	0,162	0,150	0,131	0,125	0,117	0,108	0,0959

Eine Verankerung ist theoretisch erforderlich bzw. nicht, je nachdem

$$\frac{p}{g} \cdot a(a+c) \geq l_1(l_1 + l_2).$$

d) Trägers Ausbildung und Vernietung. In der Nähe der Stütze des Kragarmes (Abb. 45) und in etwas geringerem Maße in Abb. 46 u. 47 entstehen größere Querkkräfte als bei einem einfachen Balken gleicher Stützweite. Dem geringeren Maximalmomente entsprechend wählt man eine geringere Trägerhöhe. Es resultiert eine erhebliche Vergrößerung des Verhältnisses $\frac{Q}{h}$ und der Beanspruchung der Gurtlinie I (Abb. 26), verglichen mit dem einfachen Balken und zwar um so mehr, als meistens viele Gurtplatten vorhanden und diese dazu noch kurz sind (vgl. S. 1002).

Die Nieten müssen deshalb u. Umst. recht dicht stehen (nach Abb. 7 mit e bis $2,5 d$ herab!), und man kann zu einer Stehblechverstärkung gezwungen werden.

Dies gilt auch für den durchlaufenden Träger.

e) Durchbiegungen der Zwischenträgeröffnung. Unterschied zwischen Durchbiegung infolge Einzellasten und infolge einer gleichmäßig verteilten Last größer als bei dem einfachen Balken. Dazu ist der Einfluß der Veränderlichkeit des Querschnittes schwerer zu schätzen, daher Gebrauchsformeln nicht ebenso zuverlässige wie für den einfachen Balken (s. S. 1007).

Abb. 49.

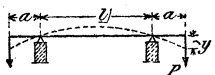


Abb. 50.

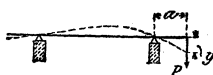


Abb. 51.

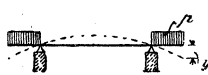


Abb. 52.

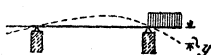


Abb. 53.

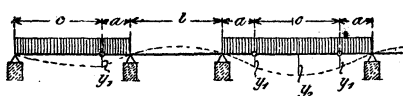
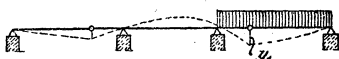


Abb. 54.



Die Formeln zu Abb. 50 bis 55 sind für unveränderliches J entwickelt:

$$\text{Abb. 49. } y = \frac{Pa^3}{EJ} \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{3} \right). \quad \text{Abb. 50. } y = \frac{Pa^2(l+a)}{3EJ}.$$

$$\text{Abb. 51. } y = \frac{pa^3}{8EJ} (a+2l). \quad \text{Abb. 52. } y = \frac{pa^3}{8EJ} \left(a + \frac{4}{3}l \right).$$

$$\text{Abb. 53. } y_1 = \frac{pa^2}{Ej} \left(\frac{a^2}{8} + \frac{al}{4} + \frac{ac}{6} + \frac{cl}{4} \right),$$

$$y_2 = y_1 + \frac{5}{384} \cdot \frac{pc^4}{EJ}.$$

$$\text{Abb. 54. } y_1 = \frac{pa^2}{EJ} \left(\frac{a^2}{8} + \frac{al}{6} + \frac{ac}{6} + \frac{cl}{6} \right).$$

Genauere Durchbiegungsberechnungen, unter Berücksichtigung des veränderlichen Trägheitsmomentes, zweckmäÙig graphisch.¹⁵⁾

Wählt man niedrige Träger, so werden die Durchbiegungen oft groß, besonders wenn die bewegliche Belastung groß ist im Verhältnis zur ständigen Last (Eisenbahnbrücken mit Querschwellenoberbau). Dann ist die Trägerhöhe erst nach einer Durchbiegungsberechnung endgültig zu wählen.

d. Vollwandige Bogenträger.^{14) 15) 16) 17)}

Bogenform Parabel- oder flacher Kreisbogen (bei kleinen Spannweiten). Pfeilverhältnis der Bogenmittellinie $\frac{f}{l}$, meistens $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{7}$.

Bei Spannweiten über 100 m ist man bei Dreigelenkbogen bis auf $\frac{1}{17,1}$ und bei Zweigelenkbogen bis auf $\frac{1}{15,5}$ herabgegangen. Bogen am häufigsten mit Kämpfergelenken, aber ohne Scheitelgelenk ausgeführt (Zweigelenkbogen).

Dreigelenkbogen trotz statischer Bestimmtheit und Wegfall der Temperaturspannungen wegen der konstruktiven Schwierigkeit des Scheitelgelenkes und der Empfindlichkeit gegenüber dynamischen Wirkungen weniger beliebt, besonders bei kleineren Spannweiten. Bogenquerschnitt oft der gewöhnliche Blechträgerquerschnitt mit einem Stehblech, vier Winkeleisen und einigen Gurtplatten. Außerdem zweiwandige, unten offene Querschnitte (Abb. 94₁₆), jedoch dann mit mehreren verhältnismäÙig breiten Gurtplatten unter den unteren Winkeln.

Stehblechhöhe bei Eisenbahnbrücken meistens $h_s = \frac{l}{40}$, wobei nach Brabandt¹⁶⁾ Gesamthöhe $h \approx 0,03 l$, bei Straßenbrücken vielfach $h_s = \frac{l}{60}$; häufig sind gröÙere Höhen vorteilhaft, bei knapper Höhe auch geringer ausgeführt.

Bei Fahrbahn oben werden die Lasten der Fahrbahn auf die Hauptträger durch Pfosten übertragen, die auf den Bogengurt aufgesetzt und mit diesem vernietet sind (Abb. 199 u. 200). (Siehe auch Abb. 155 u. 156).

Vernietung und Ausbildung der StöÙe wie bei den einfachen Blechträgern, nur wird es selten erforderlich wegen der auftretenden Querkräfte die Nietteilung enger als $6 d$ zu machen.

Vorteil dieser Trägerart ist, daÙ man auch bei mäÙiger Konstruktionshöhe die Fahrbahn oben wählen kann. Formeln für die statische Berechnung siehe S. 173 bis 177.

¹⁴⁾ Vgl. Müller-Breslau, Graph. Stat. Bd. III.

¹⁵⁾ Müller-Breslau, Theorie und Berechnung der eisernen Bogenbrücken, Berlin 1880.

¹⁶⁾ Brabandt, der vollwandige Zweigelenkbogen, Berlin 1910, Ernst & Sohn.

¹⁷⁾ Weyrauch, Elastische Bogenträger, Stuttgart 1911.

e. Fachwerkträger.**α) Systeme.****1. Allgemeine Grundsätze.**

1. Man wähle einfache, weitmaschige Systeme. Die Weitmaschigkeit findet ihre Grenze in dem zur Erzielung der Knickfestigkeit erforderlichen Mehraufwand an Material und in dem mit der Feldweite stark zunehmenden Gewicht der Fahrbahnlangsträger.

2. Die Stäbe sollen sich nicht unter sehr spitzen Winkeln schneiden (Vermeidung großer Knotenbleche).

3. Bei der Wahl eines Systems mit Gelenken (Gerberträger, Dreigelenkbogen) berücksichtige man die Mehrkosten durch das komplizierte Gelenk, namentlich bei kleinen Stützweiten.

4. Bei der Wahl der Feldweite sind sowohl Hauptträger wie Fahrbahngerippe zu berücksichtigen. Bei größeren Spannweiten sind meistens die für die Hauptträger vorteilhaftesten Feldweiten für die Fahrbahn unvorteilhaft groß. Wegen vorteilhaftester Feldteilung mit Rücksicht auf geringstes Fahrbahngewicht vgl. Tafel 26 u. 27. Man kann die Querträger in jedem zweiten Felde anbringen (Abb. 71) oder die Felder durch Einfügung von Zwischensystemen in kleinere aufteilen (Abb. 57 bis 65).

5. Bei der Wahl des Systems und der Hauptträgerhöhe berücksichtige man die Windverbände und Seitensteifigkeit.

6. Starken Horizontalschub ausübende und Verankerung erfordernde Träger machen Widerlager und Fundamente oft teuer. (Hängebrücken besonders unvorteilhaft.)

7. Behinderung des Querverkehrs auf der Brücke ist bei Systemen mit störenden Diagonalen groß, daher in solchen Fällen Systeme mit aufgehängter Fahrbahn; Hängebrücke, Langerbalken, Zweigelenkbogen mit oder ohne Zugband.

8. Ästhetische Rücksichten sind zu beachten.

2. Einfache Fachwerkbalken.**a) Anordnung des Netzes.**

Abb. 55 bis 64. Anordnungen des Netzes für Fahrbahn unten. Sie können entsprechend auch bei zwei parallelen Gurtungen ausgebildet werden.

Die Grundform Abb. 56 ist meistens derjenigen der Abb. 55 vorzuziehen.

Bei oben offenen Brücken mit schwacher Belastung kann Abb. 55 vorteilhafter werden, da die Vertikalen der Seitensteifigkeit wegen stark genug ausgebildet werden müssen, um den reinen Druck aufzunehmen und der Mehraufwand zur Erzielung der Knickfestigkeit der gedrückten Diagonalen erspart bzw. verringert wird.

Abb. 57 bis 64 zeigen, wie durch eingeschaltete Zwischensysteme die Querträgerentfernungen auch bei großen Spannweiten innerhalb der vorteilhaften Grenzen gehalten werden können.

Bei außerhalb des Hauptträgers liegenden Fußwegen wird man des freien Querverkehrs wegen den Systemen Abb. 57, 58, 62 und 64 vor denjenigen Abb. 59, 60, 61 und 63 den Vorzug geben.

Die Systeme Abb. 61 bis 64 passen für sehr große Spannweiten, siehe Müller, Breslau⁹⁾ S. 535.

Die punktiert gezeichnete Linienführung des Obergurtes in Abb. 56 und 60 bietet den Vorteil, daß die langen Vertikalen einen kleinen Zug erhalten, der ihre durch Obergurt und oberen Windverband hervorgerufene Druckbelastung aufhebt, so daß sie nicht auf Knick berechnet zu werden brauchen. Dieser Vorteil ist vielfach größer als der Nachteil des Knickpunktes im Obergurt. Außerdem gewinnt das Aussehen. Bei sehr großen Spannweiten steift man die langen Vertikalen auch aus (Abb. 65).

Es ist meistens wirtschaftlich vorteilhaft, die Diagonalen der beiden Mittelfelder nach der Mitte fallen zu lassen (Abb. 66). Diese Diagonalführung bietet auch den Vorteil, daß der sowieso durch Nietabzug geschwächte Untergurt etwas weniger beansprucht wird.

Die Neigung der Diagonalen ist zweckmäßig etwa 45° .

Für Fahrbahn oben kann man diese Systeme umdrehen. Dabei wählt man zweckmäßig nicht die Systeme Abb. 57, 58, 62 und 64, um lange gedrückte Vertikalen zu vermeiden. Bei den übrigen Systemen führt man die Vertikalen nur dann zum Untergurt herunter, wenn die Unterstützung des Querträgers oder eine etwaig notwendige Querverkreuzung dies erfordern (vgl. Abb. 67 u. 68).

Abb. 55.

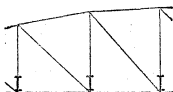


Abb. 56.

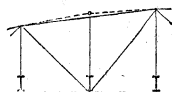


Abb. 57.

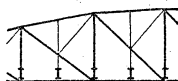


Abb. 58.

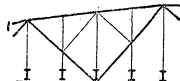


Abb. 59.

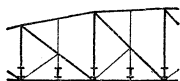


Abb. 60.

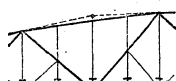


Abb. 61.

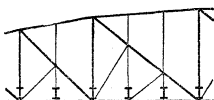


Abb. 62.

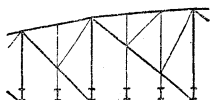


Abb. 63.

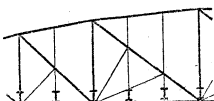


Abb. 64.

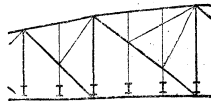


Abb. 65.

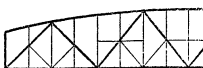


Abb. 66.

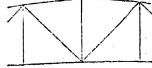


Abb. 67.

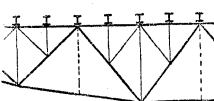
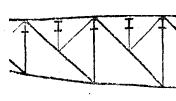


Abb. 68.



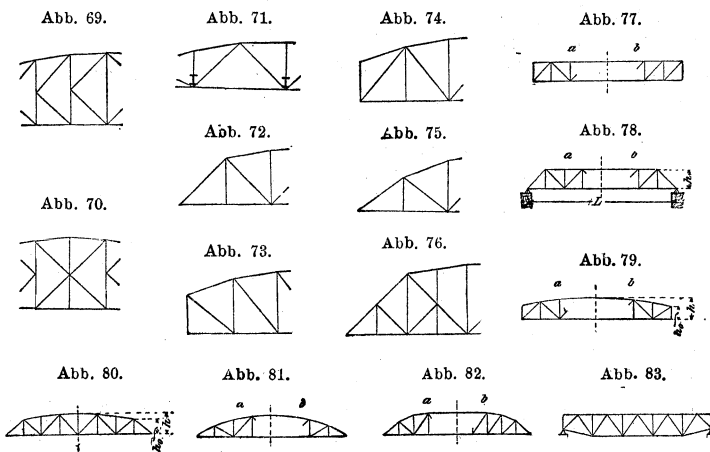
Außer den besprochenen Anordnungen wird auch das *K*-System verwendet (Abb. 69). In der Form Abb. 70 ist es statisch unbestimmt, jedoch nur für die beiden mittleren Felder.

Für breite Brücken mit geringen Spannweiten bzw. mit geringen Hauptträgerhöhen Anordnung nach Abb. 71.

Abb. 72 bis 76. Systemnetz am Auflagerpunkt und in den ersten Feldern.

Abb. 77 bis 82 zeigen die am häufigsten vorkommenden äußeren Umgrenzungsformen der Hauptträger der Balkenbrücken mit Fahrbahn unten.

Abb. 78 oft bevorzugt wegen einfacher Herstellung und bei verhältnismäßig kleinen Spannweiten, um den oberen Windverband



durchführen zu können. Von etwa $l=60$ m an ist Abb. 80 vorteilhafter.

Abb. 81 wird, auch wenn andere Kurven angewendet, oft Parabelträger, Abb. 79 u. 80 Halbparabelträger genannt. Besonders in Abb. 79 u. 80 genügt jede ästhetisch befriedigende Kurve. Abb. 83 (Schwedlerträger) bietet konstruktiv den reinen Parallelträgern gegenüber Vorteile wegen der steileren Neigung des Obergurtstabes im Auflagerfeld; vorteilhaft bei großen Spannweiten.

Systeme für kleine offene Brücken (Abb. 77 bis 81).

b) Trägerhöhen der Balkenbrücken.

Parallelträger. Ist die Konstruktionshöhe unbeschränkt, so sei $\frac{l}{h} \leq 8$ bei Fahrbahn unten. Bei durchgehendem oberen Windverband

und hinreichend breiten Brücken (vertikale Hauptträgermehrbelastung infolge Winddrucks!) $\frac{l}{h} \geq 6$.

Bei oben offenen Brücken mitunter $\frac{l}{h} > 8$ vorteilhaft.

Bei Fahrbahn oben $h \leq \frac{l}{8}$ wegen der Knickbeanspruchung der Vertikalen und Stabilität.

Träger mit einem gekrümmten Gurt.

Bei Fahrbahn unten wähle man $\frac{l}{h}$ etwa eine Ziffer kleiner als bei Parallelträgern.

Die Höhe h_0 am Brückenende (Abb. 79 u. 80) wird vorteilhaft nur gerade so groß gewählt, daß die lichte Höhe für den Verkehr ausreicht.

3. Weitere Hauptträgersysteme.

a) Auflagerträger oder **Gerberträger** (Abb. 84 bis 87).

Vorteile: Bei zweckmäßiger Wahl der Verhältnisse a , l_1 und l_2 ist der Materialverbrauch besonders bei großer ständiger Belastung

Abb. 84.

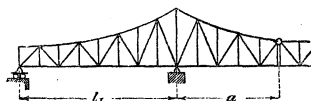


Abb. 86.

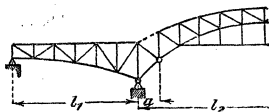
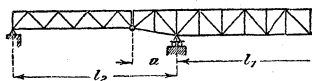


Abb. 85.



Abb. 87.



(schwere Strassenbrücken) und großen Stützweiten geringer als bei einfachen Balkenbrücken. U. Umst. vorteilhafte Montage.

Nachteile: Verankerungen, besonders bei beweglichem Auflager (linkes Auflager, Abb. 84 u. 85), Empfindlichkeit gegen dynamische Wirkungen. Schwierigkeit der Gelenkkonstruktion bei dem beweglichen Auflager des Zwischenträgers und des Windverbandes (s. a. S. 1010).

b) **Zweigelenkbogen** (Abb. 88 bis 90).

c) **Zweigelenkbogen mit Zugstange** (Abb. 91).

d) **Langerscher Balken** (Abb. 92).

Hierbei erhält man auch bei großen Stützweiten leichter so kleine Feldweiten, daß sich annähernd das geringste Fahrbahngewicht ergibt. Abb. 92 u. 92a sind der Anordnung 92b vorzuziehen, da hier der mittlere Gurt große Spannkraft am Ende des Trägers, dagegen geringe in der Mitte erhält und der untere Gurt umgekehrt.

e) Bei **statisch unbestimmten Systemen** empfiehlt es sich oft, die statische Unbestimmtheit (durch Festnieten einer oder mehrerer bis dahin lose verschraubter Stäbe) erst eintreten zu lassen nach dem Aufbringen des Ganzen oder eines Teiles des Eigengewichtes bzw.

Abb. 88.

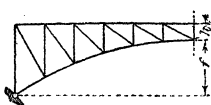


Abb. 89.

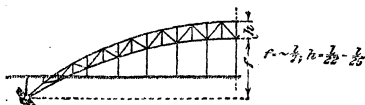


Abb. 90.

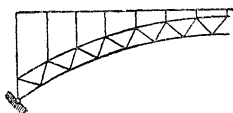


Abb. 91.

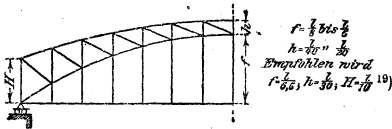


Abb. 90a.

Abb. 91a.

Abb. 92a.

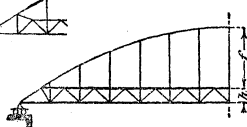
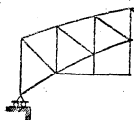
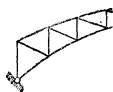


Abb. 92.



Abb. 92b.

einer Ballastbelastung. Das System ist dann z. B. nur statisch unbestimmt für die Verkehrslast und für Temperatureinflüsse. Einer der hierdurch erreichbaren Vorteile besteht in der Möglichkeit, die Stabquerschnitte den wirklich auftretenden Stabkräften besser anzupassen. Beispiel: Abb. 88 wird montiert als Dreigelenkbogen mit Scheitलगelenk (theoretisch) in der Mitte des Untergurtes und der mittlere Obergurtstab erst nach Aufbringen des Eigengewichtes geschlossen.

β) Querschnitte der Hauptträgerstäbe.

1. Allgemeines.

Bei den gezogenen Stäben begnügt man sich mit geringerer Steifigkeit, man braucht die einzelnen Teile der Stäbe nicht so starr miteinander zu verbinden wie bei den Druckstäben, deren Querschnitte aus getrennten Teilen bestehen.

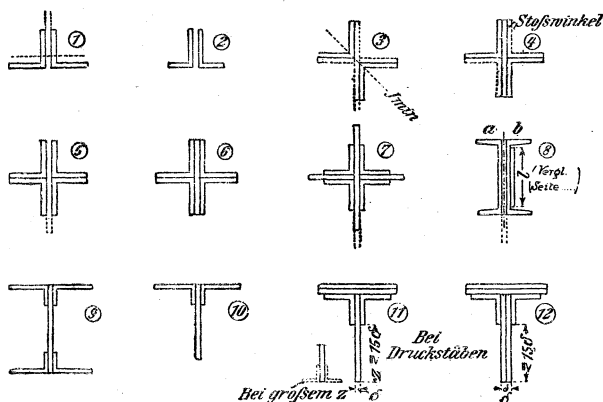
Einwandige Querschnitte werden in der Regel nur bis zu Gurtquerschnitten von etwa 400 qcm angewendet, mit der Einschränkung, daß nicht allzu lange gedrückte Diagonalen vorkommen; sie sind eher am Platze bei schwerer Belastung und geringer Spannweite als um-

¹⁹⁾ Schaper, Eiserner Brücken, 2. Aufl., Berlin 1911, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

gekehrt. Vorzüge: Geschlossenheit, geringere Oberfläche für den Anstrich und leichte Zugänglichkeit. Man braucht meist nur ein Knotenblech in jedem Knotenpunkt, und die Anschlußniete der Füllungsstäbe werden als zweischnittig [bis auf Querschnitt (3)] vorteilhafter ausgenutzt.

Die zweiwändigen Querschnitte sind vorzuziehen, wenn $F > 400 \text{ qcm}$, ferner auch bei kleineren Querschnitten wegen der Seitensteifigkeit bei oben offenen Brücken, sowie wenn sehr lange

Abb. 93.



gedrückte Diagonalen vorkommen (vgl. jedoch S. 1025 bis 1027). Gebräuchliche Blechstärken 10 bis 20 mm.

Man berücksichtige bei der Querschnittswahl:

1. daß alle Teile für den Anstrich bequem zugänglich sind (schmale Schlitz vermeiden, unter 12 mm überhaupt nicht),
2. daß keine Wassersäcke entstehen,
3. daß die Knotenbleche bequem und vollkommen genug angeschlossen werden können,
4. daß behufs Kostenersparnis eine größere Anzahl durchgehender Nietreihen möglichst vermieden wird.

Bei den Gurtungen:

1. daß eine Veränderung der Querschnittsfläche in hinreichend kleinen Abstufungen möglich ist,
2. daß die Konstruktion des Stoses bequem ist,
3. daß durch die Verstärkung des Querschnittes mittels Hinzufügens neuer Bestandteile die Schwerlinie möglichst wenig springt.

Einwandige Querschnitte (Abb. 93): 1 bis 12.

Gurtquerschnitte: 10 bis 12, 1 bis 3, selten auch 5 und 8.

Strebenquerschnitte: 1 bis 9.

Vergleicht man Abb. 93 1, 2, 3, 5 und 8, so findet man bei gleichem J das kleinste F' bei Nr. 3, das größte bei Nr. 8.

Nr. 3 größtes J , geringe Nietarbeit, Zugänglichkeit des Querschnittes, leichte Anbringung der Stöfswinkel in den leeren Vierteln. Nr. 5 bis 7 erfordern vier durchgehende Nietreihen.

Meistens wird verlangt, daß die Schlitzte unterfüllt sind. Das Futter wird unter Umständen als Querschnitt benutzt und durch indirekt wirkende Laschen angeschlossen.

Bei dem Querschnitt 11 kann das Knotenblech in die Ebene des Stehbleches (Abb. 108) oder neben das Stehblech (Abb. 109) gelegt werden.

Zweiwandige Querschnitte: (Abb. 94) 1 bis 19.

Untergurtquerschnitte (Zuggurte): (Abb. 94) 1, 2, 4 und 5, sowie 10 bis 14; bei 1, 2, 4 und 5 ändert sich die Lage der Schwerlinie nicht durch die Verstärkungen.

Obergurtquerschnitte: (Abb. 94) 3, 6 bis 9, sowie seltener 18.

Strebenquerschnitte: (Abb. 94) 1, 2, 4 und 5, 15 bis 18.

Bei den Querschnitten 1 bis 3 soll eine Verstärkung durch ein Flacheisen auf dem Stehblech des \square -Eisens zwischen den Flanschen nicht gleichzeitig mit einer Flacheisen-Verstärkung außerhalb des \square -Eisenflansches angebracht werden, da dann besonders in den Stößen die Ausführung der Vernietung schwierig wird.

Als Gurthöhe h empfiehlt Schaper¹⁹⁾ $19\ h = l - \frac{l^2}{400}$, wo h in cm und l in m, und als Entfernung der Stehbleche $b = h - 0,1\ l$ (b und h in cm, l in m) bei mittleren, bis $b = h - 0,2\ l$ bei großen Spannweiten, bei Bogenbrücken $h = \frac{2}{3} \left(l - \frac{l^2}{400} \right)$ und b wie vorher $= h - 0,1\ l$ bis $h - 0,2\ l$. Je nach der Belastung der Brücke ist von den so erhaltenen Maßen abzuweichen. Untergurt oft etwas höher als Obergurt.

Für Diagonalen teils Nr. 1 oder auch bei großen Kräften Nr. 4 und Nr. 19 oder Nr. 15 bis 17. Auch feste Verbindung zwischen beiden Querschnittsteilen wie Nr. 18. In Preußen ist neuerdings durch Ministerialerlaß bestimmt, daß fortan alle wichtigeren Druckstreben nicht mehr als gegliederte Stäbe ausgeführt werden dürfen, sondern an beiden Achsrichtungen mindestens eine volle Blechwand erhalten müssen.²⁰⁾

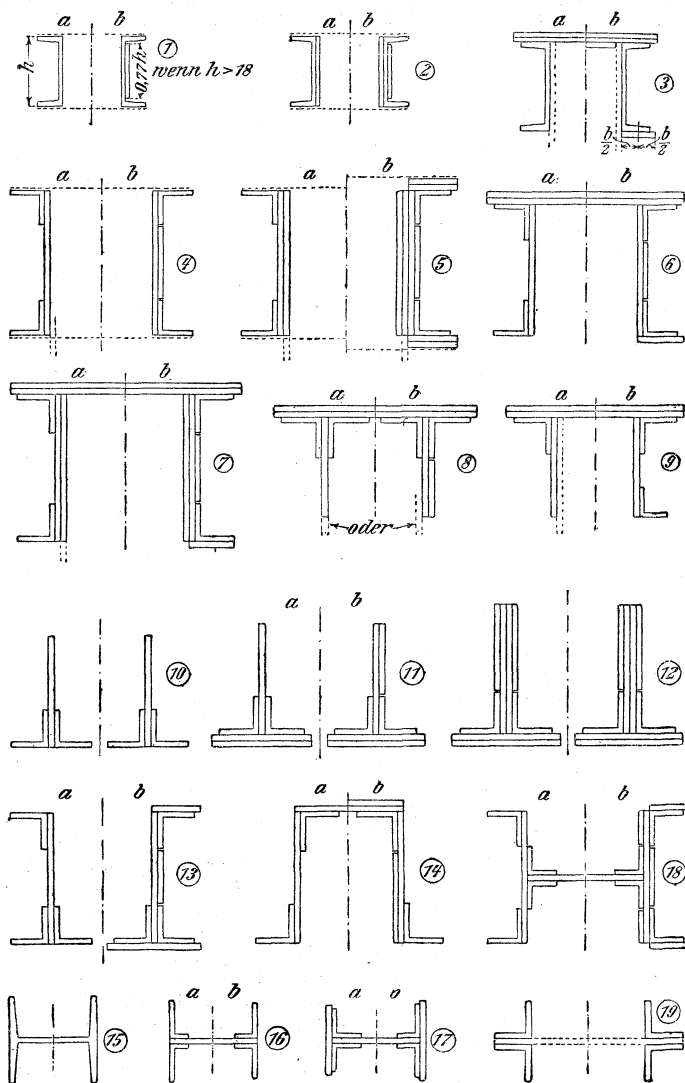
Uebersteigt die Knotenblechentfernung nennenswert 30 cm, so werden Nr. 16 und 17 in der Regel günstiger als Nr. 15.

2. Querschnittsberechnungen.

Bei der Spannungsberechnung gedrückter Stäbe werden die Nietlöcher meistens nicht abgezogen (die Anschauungen gehen auseinander). Bei Durchbiegungsberechnungen und Formänderungsberechnungen zur Ermittlung statisch nicht bestimmbarer Größen sowie bei der Berechnung der Trägheitsmomente bei Knickberechnungen braucht man in der Regel die Nietlöcher nicht zu berücksichtigen. Dies gilt auch bei Knickberechnungen nach den Tetmajerschen Formeln, und zwar sowohl bei der Ermittlung von x wie von σ_k .

²⁰⁾ Vgl. Meinungsäußerung hierzu: Krohn, Z. d. B. 1911 S. 223.

Abb. 94.



Bei gezogenen Stäben beachte man, daß aufeinandergelegte Teile in verschiedenen Querschnitten reißen können. Man erhält dann Nutzquerschnitte wie z. B. Abb. 96.

Beispiel für die Berechnung eines einfachen Druckquerschnittes (Abb. 95).
(Die Berechnung von J_{II} ist weggelassen.)

	F qcm	y cm	$F \cdot y$ ccm	$F \cdot y^2$ cm ⁴	J_0 cm ⁴
Stehblech 30.1.4 . .	42,0	15	630	9 450	$\frac{14 \cdot 30^3}{12} = 3150$
Winkel 11.11.1.4 . .	58,0	3,21	186,18	598	$2 \cdot 319 = 638$
Gurtplatte 28.1.6 . .	44,6	-0,8	-35,68	+29	$\frac{28 \cdot 1,6^3}{12} = 10$
Summe	144,6		780,50	10 077	3798

Abb. 95.

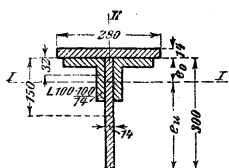


Abb. 96.

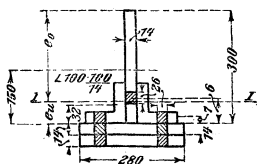
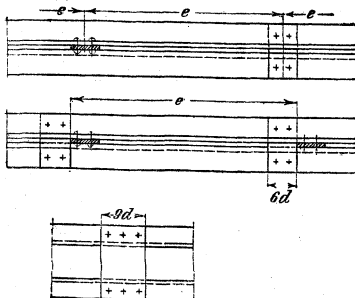


Abb. 97 bis 99.



$$\Sigma J_0 = 3798$$

$$F \cdot e_0^2 = 144,6 \cdot 5,40^2 = 4217$$

$$J_{II} = 9658 \text{ cm}^4$$

$$e_0 = \frac{\Sigma F \cdot y}{\Sigma F} = \frac{78050}{144,6} = 5,40$$

$$e_u = 30 - 5,40 = 24,60$$

Für Zugsstäbe mit Nietabzug gestaltet sich die erforderliche Ausrechnung zweckmäßig wie folgt (Abb. 96).

	F qcm	y cm	$F \cdot y$ ccm
Stehblech 30.1.4	42,0	15	630,0
Winkel 11.11.1.4	58,0	3,21	186,18
Gurtplatten (28-5,2).2,8	63,84	-1,4	-89,38
Nietabzug 2.2.6.1.4	7,28	0,7	-5,10
2,6.1.4	3,64	6	-21,84
Summe	152,92		699,86

$$e_u = \frac{\Sigma F \cdot y}{\Sigma F} = \frac{699,86}{152,92} = 4,57 \text{ cm}$$

$$e_0 = 30 - 4,57 = 25,43 \text{ cm}$$

γ) Verbindung getrennter Stabteile bei Druckgliedern.

1. Rechteckige Verbindungsplatten, Querbleche, Abb. 97 u. 98 entsprechend, zu verwenden auch bei Stäben mit den Querschnitten Abb. 93 Nr. 1, 2, 5 und 8. Bei Stäben der Querschnitte Abb. 94 Nr. 1, 2 und 4 werden die Querplatten nach Abb. 99 ausgebildet. Nach v. Empergers Versuchen mit

kleineren Querschnitten²¹⁾ genügt zweinietiger Anschluß der Querbleche. Für größere Querschnitte im Brückenbau mindestens dreinietiger Anschluß gefordert. Die Beanspruchung der Niete nimmt nach den Stabenden zu.

Früher wurde die Plattenentfernung e so bestimmt, daß die einzelnen Bestandteile für den entsprechenden Bruchteil der Gesamtkraft nach der Eulerschen Formel die übliche Knicksicherheit zeigten: für fünffache Knicksicherheit mit $E = 2150 \text{ t/qcm}$

$$e \geq 0,92 \sqrt{\frac{J'_{\min}}{S}},$$

für vierfache Knicksicherheit

$$E = 1,03 \sqrt{\frac{J'_{\min}}{S}},$$

wo J'_{\min} sich auf den Querschnitt eines einzelnen Bestandteiles bezieht und S die Gesamtstabskraft in t ist. Die so erhaltene Querblechentfernung ist zu groß!

Nach v. Emperger²¹⁾ dürfen die Querbleche nur halb soweit voneinander stehen wie die theoretische Erwägung

$$\left(\frac{i \text{ eines Teiles}}{i \text{ des Ganzen}} = \frac{e}{\text{Gesamtlänge}} \right)$$

verlangt.

Tetmajer²²⁾ gibt für kreuzförmige Querschnitte aus zwei und vier Winkelleisen an, daß e etwa gleich dem 50-fachen kleinsten Trägheitshalbmesser des Querschnitts eines einzelnen Bestandteiles sein muß, dabei soll die Anordnung nach Abb. 97 genügen.

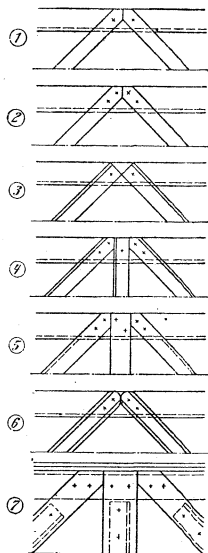
v. Emperger schließt aus seinen Versuchen, daß richtig bemessene Querbleche für Γ -Querschnitte einer Vergitterung gleichwertig sind. Meistens wird jedoch jetzt verlangt, diese Verbindungsart für Druckstäbe im Brückenbau auszuschließen zu gunsten einer Vergitterung oder noch besser einer vollwandigen Verbindung. Vgl. Bemerkung zu Abb. 94 Nr. 18 sowie Fußnote 20, wonach R. Krohn (Danzig) für gegliederte Stäbe eintritt.

2. Vergitterung (Abb. 100).

Flacheisenvergitterung, Abb. 100 (1 bis 2). Man wähle der Steifigkeit wegen lieber schmale und dafür stärkere Flacheisen als breite und dünne. Gekreuzte Flacheisen kommen auch vor.

Winkelleisenvergitterung wie Abb. 100 Nr. 3 u. 4 sieht schlecht aus, besser Nr. 5, aber nicht empfehlenswert. Für ein Niet, Dmr. 16, braucht man L 55, für ein Niet, Dmr. 20, L 65. Zu empfehlen ist Vergitterung mit Haspeneisen (Nr. 6).

Abb. 100.



²¹⁾ Beton u. Eisen 1908, S. 71, 97, 119 und 148.

²²⁾ Gesetze der Knickungs- und der zusammengesetzten Druckfestigkeit, Leipzig u. Wien 1903.

Gitterstabanschlufs durch ein Niet häufig genügend, mit Rücksicht auf die Ausführung der Vernietung sind zwei Niete zu empfehlen, deshalb oft eine Stabneigung von 30° (Nr. 4 u. 5).

Geht man mit y (Abb. 12) bei Dmr. 16 auf 18, bei Dmr. 20 auf 23 mm herab, so erhält man die für die Anbringung von zwei Nieten erforderlichen inneren Flanschbreiten aus nebenstehender Tabelle (φ = Neigungswinkel der Gitterstäbe gegen die Stabachse).

φ	d mm	e und a (Abb. 9)	
		$e = 3d, a = 1,5d$ mm	$e = 2,5d, a = 1,25d$ mm
45° {	16	78	67
	20	95	84
30° {	16	66	58
	20	83	73

d) Berechnung der gedrückten Brückenglieder.

1. Vollwandige Stäbe. Von den Preussischen Brückenbauvorschriften von 1903 und den Brückenbauvorschriften der Schutzgebietsbahnen von 1908 ist die Eulersche Knickformel vorgeschrieben und fünffache Knicksicherheit verlangt. Als Knicklänge wird meist die volle Knotenpunktfemern in Rechnung gesetzt.*)

Die Eulersche Formel ist, streng genommen, nur richtig für verhältnismässig schlanke Stäbe und liefert für kleine Werte $\frac{l}{i}$ zu günstige Resultate.

In Oesterreich, der Schweiz, vielfach auch in Deutschland, wird daher die Tetmajersche Formel angewendet in der Form:

$$K_k = \frac{P_k}{F} = 3100 - 11,4x; \text{ wo } x = \frac{l}{i}.$$

Der Sicherheitsgrad \mathfrak{S}_1 beträgt $\frac{3100 - 11,4x}{\sigma}$, wo σ die wirklich auftretende Schwerpunktdruckspannung bedeutet.

Verhältnisse der Sicherheitsgrade nach der Eulerschen (\mathfrak{S}) und Tetmajerschen (\mathfrak{S}_1) Formel:

$$\frac{\mathfrak{S}_1}{\mathfrak{S}} = 1 \quad \frac{4}{5} \quad \frac{3}{4} \quad \frac{1}{2} \quad 1 \quad 3,33'$$

wenn $x = 105 \quad 90,6 \quad 86,8 \quad 67,5 \quad 50.$

Für $\sigma = 750; \quad 1000; \quad 1250$ erhält man, wenn $\mathfrak{S} = 5$

$x = 75,2; \quad 65,1; \quad 58,3$ und demnach

$\mathfrak{S}_1 = 2,99; \quad 2,36; \quad 1,95.$

Genügt man den preussischen Vorschriften, so erhält man nach Tetmajer im ungünstigsten Falle also eine etwa zweifache Knicksicherheit.

Nach den sorgfältigen Untersuchungen v. Kármáns²³⁾ dürfte der wirkliche Knicksicherheitsgrad etwas grösser sein, als der nach der Tetmajerschen Formel ermittelte. v. Kármán schlägt für die Knickspannungen zwischen Elastizitätsgrenze (σ_p) und Quetschgrenze (σ_q) und für $30 < x < x_p$ folgenden Ausdruck K_k vor

$$K_k = \sigma_q - (\sigma_q - \sigma_p) \frac{x - 30}{x_p - 30}, \text{ wo } x_p = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}}.$$

*) Formeln über Knickfestigkeit s. I. Bd. S. 533 u. f.

23) Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein deutscher Ingenieure, Heft 81: v. Kármán, Untersuchungen über Knickfestigkeit (1910).

Für das von Tetmajer untersuchte Flusseisen wird $x_p = 93$ (ersetzt Tetmajers 105) und die Tetmajersche Formel geht über in $K_k = 3150 - 8x$.

Die Knickfestigkeit wird nach Kármán²³⁾ durch eine geringe Exzentrizität des Kraftangriffes bei sehr schlanken Stäben nicht beträchtlich beeinflusst (schlanke Windverbandstäbe!), während sie bei kürzeren Stäben schon durch äußerst geringe Exzentrizitäten bedeutend vermindert wird; durch eine starke Einspannung der Stäben wird nur bei sehr schlanken Stäben eine bedeutende Erhöhung der Knickfestigkeit erzielt. Eine Einspannung liegt für die Ebene der Tragwand in ziemlich hohem Maße vor, wenn ein schwacher Gitterstab an eine kräftige Gurtung angeschlossen wird.

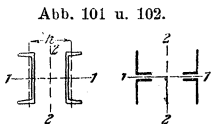
2. Gegliederte Druckstäbe. R. Krohn²⁴⁾ empfiehlt folgende, aus der Tetmajerschen Formel abgeleitete, durch Knickversuche bestätigte Berechnungsverfahren.

I. Der Querschnitt besteht aus zwei getrennten Teilen, z. B. **II**.

a) Berechnung der Stabquerschnitte und freien Längen.

Die Achse 1—1 (Abb. 101 u. 102) heiße Materialachse, 2—2 freie Achse. Es handelt sich um Ausknicken um die freie Achse. P , l und J beziehen sich auf den Gesamtstab, P_1 , l_1 und J_1 auf einen Einzelstab. h ist die Schwerpunktsentfernung der beiden Querschnittsbestandteile.

Durch die den Knickvorgang einleitende Ausbiegung erhält der auf der konkaven Seite liegende Einzelstab im Augenblicke des Bruches den Anteil der Gesamtkraft des Stabes:



$$P_{1k} = \alpha P_k = P_k \cdot \frac{68h}{136h - l} = P_k \cdot \frac{68}{136 - \frac{l}{h}}.$$

Der größte Wert $\frac{l}{h}$, für welchen dieser Ausdruck abgeleitet ist, beträgt 52,5 (dann ist $x = 105$). Hierfür wird $P_{1k} = 0,81 P_k$. Krohn empfiehlt, den Geltungsbereich dieses Ausdruckes auch auf die Fälle auszudehnen, wo $\frac{l}{h} > 52,5$.

Für die Tragfähigkeit des Gesamtstabes ist die Tragfähigkeit bzw. Knicksicherheit des Einzelstabes maßgebend.

Man erhält: $P_{1k} = \sigma_k \cdot F_1 = (3100 - 11,4x) F_1$ und die Knicklast $P_k = \frac{P_{1k}}{\alpha} = P_{1k} \left(2 - \frac{l}{68h} \right)$, wo P_{1k} die Kraft ist, bei welcher der Einzelstab ausknickt.

Für den Einzelstab erhält man aus der Tetmajerschen Formel die zulässige Länge: $l_1 = i_1 \left(\frac{272 - 87,7 \sqrt{P_1}}{F_1} \right)$, wo $P_1 = P \left(2 - \frac{l}{68h} \right)$ und P die tatsächliche Druckkraft des Stabes. (P_1 ist dabei im allgemeinen nicht die tatsächliche Last eines Einzelstabes.)

²³⁾ R. Krohn, Beitrag zur Untersuchung der Knickfestigkeit gegliedelter Stäbe (Z. d. B. 1908 S. 559). — Hier sind zum Teil einige unbedeutende Abänderungen in der Form des Ausdrucks vorgenommen worden.

Das Trägheitsmoment, auf die freie Achse bezogen, muß wesentlich größer gewählt werden, als das erforderliche Trägheitsmoment mit Bezug auf die Materialachse.

Beispiel: $P = 72$ t; $l = 5$ m; verlangt $\varepsilon \leq 4$.

Probeweise gewählt IC N.-P. 30 mit 25 cm lichter Entfernung und einer Schwerpunktf Entfernung $h = 30,4$ cm. Es ist $F = 2.58,8 = 117,6$ qcm und auf die Materialachse bezogen $J = 2.8026 = 16652$ cm⁴, $i = 11,7$ cm, $x = 42,7$, also beim Ausknicken um die Materialachse nach Tetmajer:

$$\sigma_k = 3100 - 11,4 \cdot 42,7 = 2613 \text{ kg/qcm};$$

$$P_k = 117,6 \cdot 2,613 = 307 \text{ t}; \quad \varepsilon = \frac{307}{72} = 4,2.$$

Ferner ist $F_1 = 58,8$, $J_1 = 49,5$, $i_1 = 2,90$, also nach Krohn

$$P_1 = 72 \cdot \frac{68}{136 - \frac{500}{30,4}} = 40,9 \text{ t}.$$

Man kann versuchsweise l_1 wählen, das entsprechende σ_k berechnen und hat dann

$$\varepsilon = \frac{\sigma_k \cdot F_1}{40,9} \quad \text{oder man berechnet } l_1 = 2,90 \cdot \left(272 - \frac{87,7 \cdot 4 \cdot 40,9}{58,8} \right) = 79 \text{ cm}.$$

b) Berechnung der Querverbindungen der Einzelstäbe.

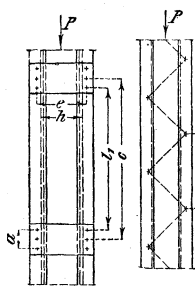
Man versucht, die Querkraft im gebogenen Stabe im Augenblicke des Knickens zu ermitteln. Krohn²⁴⁾ empfiehlt dabei, mit der Querkraft

$Q = \frac{F_1}{14}$ zu rechnen. (F_1 in qcm, Q in t) und diesen für $x < 105$ abgeleiteten Wert auch für größere Werte x anzunehmen.

Vianello⁸⁾ erhält auf Grund einer Annäherungsrechnung für elastisches Knicken ($x > 105$) $Q = \frac{F_1}{11}$.

Dabei dürfen bei der Bemessung der Verbindungsteile die Bruchspannungen zugrunde gelegt werden, oder man rechne unter Zugrundelegen der sonst in dem Bruchteile zulässigen

Abb. 103 u. 104.



Spannung mit $\frac{Q}{\varepsilon}$, also z. B. mit $\frac{F_1}{14\varepsilon}$.

Vianello empfiehlt, mit der Annahme zu rechnen, daß Q auf der Länge $\frac{1}{6}l$ vom Stabende konstant ist und von da bis zur Stabmitte geradlinig abnimmt.

Bei der Verbindung der Einzelstäbe mittels Querbleche, die in der Entfernung c von Mitte zu Mitte angebracht sind, erhalten diese eine in der Stabrichtung wirkende Scherkraft $T = Q \frac{c}{h}$ (Abb. 103), also nach Krohn bei der Bruchbelastung $T = F_1 \frac{c}{14h}$ und für die Berechnung

der Niete $M = T \cdot \frac{c}{2}$. Wird annähernd $e = h$ gesetzt, so erhält man

$$M = \frac{F_1 c}{28}.$$

Die von dem Momente hervorgerufene Nietkraft beträgt bei zwei und drei Nieten $\frac{M}{a}$, bei vier Nieten $0,9 \frac{M}{a}$, wenn a die Entfernung der äußersten Niete bedeutet.

Beispiel (Abb. 103). Für den vorher untersuchten Druckstab ($P = 72 \text{ t}$, $l = 500 \text{ cm}$, $h = 30,4 \text{ cm}$) sei gewählt $l_1 = 78 \text{ cm}$. Bindebleche mit drei Nieten, Dmr. 20, Nietteilung 6 cm , $a = 12 \text{ cm}$, $e = 35 \text{ cm}$. Für ein Blech (auf der einen Seite) ist

$$T = \frac{1}{2} \cdot 58,8 \cdot \frac{90}{14 \cdot 30,4} = 6,21 \text{ t}, \quad M = 6,21 \cdot \frac{35}{2} = 108,6 \text{ tcm}$$

und die Nietkraft infolge des Momentes $N = \frac{108,6}{12} = 9,06 \text{ t}$ oder mit Berücksichtigung des Anteiles der Querkraft T

$$N = \sqrt{9,06^2 + \left(\frac{6,21}{3}\right)^2} = 9,3 \text{ t} \text{ bei der Bruchbelastung.}$$

Scherspannung $\tau = \frac{9,3}{8,14} = 2,96 \text{ t/qcm}$, erreicht also nicht die Bruchspannung.

Das Querblech selbst wird auch nicht überbeansprucht.

Für eine Vergitterung wäre am Ende des Stabes eine Querkraft $Q = 58,8 : 14 = 4,2 \text{ t}$ zugrunde zu legen, also für die Vergitterung einer Seite bei 45° Stabneigung die Kraft in einem Gitterstabe $S = \frac{4,2}{2} \sqrt{2} = 3 \text{ t}$. Zur Aufnahme dieser Kraft (bei der Bruchbelastung) genügt theoretisch ein Niet, Dmr. 16. Bei Vergitterung mit Flachseisen 60.10 mit rd. 50 cm Länge hat man bei der Bruchbelastung einen Knicksicherheitsgrad

$$\frac{2,12 J}{P l^2} = \frac{2,12 \cdot 0,5}{3 \cdot 0,25} = 1,38,$$

also in der Wirklichkeit einen Sicherheitsgrad $\mathcal{S} = \text{rd. } 4 \cdot 1,38 = 5,5$.

II. Für Stäbe, die aus mehr als zwei Einzelstäben bestehen, erhält man entsprechend²⁵⁾

$$P_1 = P \cdot F_1 \cdot \frac{272}{272 \cdot \frac{l}{i}},$$

wo F_1 der Querschnitt des äußersten Einzelstabes, F der Gesamtquerschnitt des Stabes ist und $\frac{l}{i} = x$ sich auf den Gesamtstab bezieht.

ε. Stöße.

(Vgl. Stofs des Blechträgers S. 23 u. 24 und Abb. 28 bis 32.)

Die Schwächung des Stabquerschnittes durch Nietlöcher ist wenigstens in den gezogenen Gliedern möglichst klein zu halten. Verjüngte Nietanordnung zur Verkleinerung des Nietabzuges oft vorteilhaft. Bei der Bemessung der Bruttoquerschnitte sind Nietabzüge infolge von Stößen zu berücksichtigen. Bei den in den Stößen üblichen Nietentfernungen $3d$ bis $3,5d$ wird empfohlen, in den Winkleisen immer zwei Niete abzuziehen (vgl. Nietabzug S. 986 Abb. 14). Die Nietzahl wird entweder nach den auftretenden Kräften oder nach dem Querschnitte des zu stoßenden Stabes bemessen. Letzteres hat oft einen Mehraufwand zur Folge. Bei Zugstäben wird im zweiten Falle der geschwächte Querschnitt zugrunde gelegt. Nach den preuss. Brückenbauvorschriften ist dann: $\frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4} = 1,11 F$, wo bei zweischnittige Niete zweimal zu rechnen sind; gesamte Lochleibungs-

fläche $n \cdot d \cdot \delta = 0,556 F'$, wo F' = nutzbarer Stabquerschnitt. Wenn Platten zwischen gestoßenem Teil und Lasche vorhanden (indirekte Kraftübertragung) Zuschlag zur Nietzahl erwünscht (z. B. 50 vH). Die Anschauungen hierüber gehen auseinander. Ebenso Zuschlag bei Exentrität, oder wenn sonst ungleichmäßige Kraftverteilung zu erwarten.

Abb. 105.

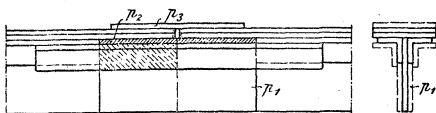


Abb. 105. Ausnutzung des Futterstückes p_2 als Lasche für die innere Gurtplatte. Wird die Winkellasche nicht unterfüttert (links durch Schraffur angedeutet), so muß die Decklasche p_1 unnötig stark gemacht werden.

Abb. 106. Im oberen Teil des Stehbleches im Stosse fünf abziehende Nietlöcher. Dieser Nachteil wird vermieden 1. durch längere Stofsverbindung mit nur 3 Nieten in jedem Querschnitt, 2. (wie rechts

Abb. 106.

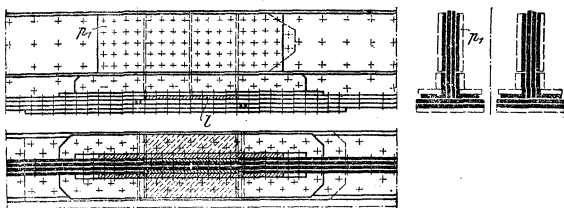
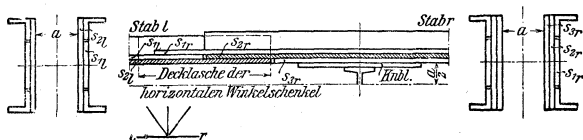


Abb. 107.



punktiert) durch eine am Ende verjüngte Nietanordnung; dabei Lasche p_1 so stark, daß ihr Mehrquerschnitt den Verlust der 2 Nietlöcher durch die sämtlichen Stehbleche aufhebt.

Abb. 107. Anfang einer Verstärkung fällt mit einer Stofsstelle zusammen. Die Stehbleche S_{2r} und S_{2l} greifen übereinander, so daß die Wandungen trotz der nach innen aufgelegter Verstärkung denselben Abstand voneinander behalten.

²⁵⁾ z. T. etwas abgeändert nach Schaper, Eiserne Brücken, 2. Aufl. Berlin 1911.

c) Knotenpunkte.

Die Stäbe sind möglichst so zu legen, daß ihre Schwerlinien mit den Netzlinien zusammenfallen oder nur um ein geringes von ihnen abweichen. Schon bei der Querschnittswahl ist deshalb darauf zu achten, daß sich nur geringe Sprünge der Gurtschwerlinien in den Knotenpunkten ergeben.

Besonders bei kleinen Bauwerken verzichtet man zugunsten einer bequemen Konstruktion meistens darauf, den Knotenpunkt des Wind-

Abb. 108.

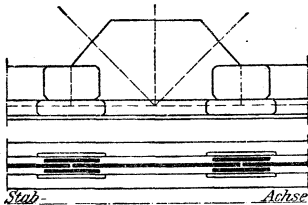
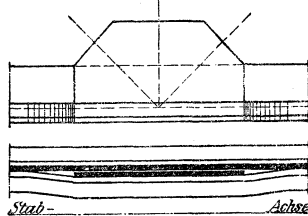


Abb. 109.



trägers mit dem Knotenpunkte des Hauptträgers zusammenfallen zu lassen. Dadurch können exzentrische Beanspruchungen in den Gurtstäben entstehen.

Meistens ist ein besonderes Knotenblech erforderlich. Dieses kann in die Ebene der Stehbleche gelegt werden (Abb. 108) oder neben die Stehbleche (Abb. 109).

Eine genaue Berechnung der Beanspruchungen in den Knotenpunkten ist im allgemeinen nicht ausführbar, dagegen eine überschlägliche Berechnung bzw. Schätzung der Beanspruchungen der Knotenbleche und Nietverbindungen erforderlich.

Die durchschnittliche Spannung in dem Schnitt a bis d (Abb. 110 u. 111) soll bei zentrischem Angriff die zulässige nicht erreichen.

Bei exzentrischem Angriff (Abb. 111) soll die kleinere der beiden Strecken ab und bd (hier ab) so lang sein, daß die entsprechende Schnittfläche reichlich so groß ist wie die halbe erforderliche Nutzfläche des angeschlossenen Stabes.

Abb. 110.

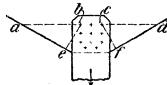
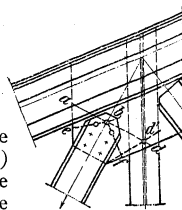


Abb. 111.



In Abb. 111 ist $\overline{ab} = \overline{bd'}$. Wächst die Schnittfläche von ad' auf ad , so wächst σ_a (nach der Formel $\frac{P}{F} + \frac{M}{W}$ berechnet) und erreicht den theoretischen Höchstwert $\frac{4}{3} P : \delta \cdot \overline{ad'} = 2 P : \delta \cdot \overline{ad}$ für $\overline{bd} = 2 \overline{ba}$.

Gebrochene Schnittflächen wie $ebcf$ und ebf (Abb. 110 u. 111) oder etwaige gekrümmte Schnittflächen werden meistens eher über-

anstrengt als die geraden Schnitte ab (vgl. besonders Abb. 110). Ist die Schnittfläche $ebcf$ durch Nietlöcher stark geschwächt (Abb. 112), so ist noch mehr darauf zu achten, daß keine Ueberanstrengung des Knotenbleches entsteht. Gebrochene Flächen ef (Abb. 110 bis 112) sind

Abb. 112.

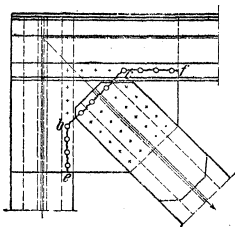
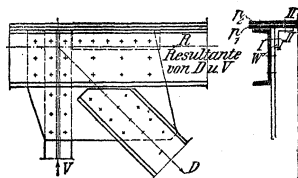


Abb. 113



bei zentrischem Angriff reichlich so groß zu machen wie die erforderliche Nutzfläche des anzuschließenden Stabes. Verbindung des Knotenbleches mit dem Gurte (Abb. 113) so, daß die mit der Gurtkraft zusammenfallende Resultante vom D und V möglichst durch den Schwerpunkt der Niete geht, die das Knotenblech mit dem Gurte verbinden. Deshalb wird man zweckmäßig die oberste Nietreihe

Abb. 114.

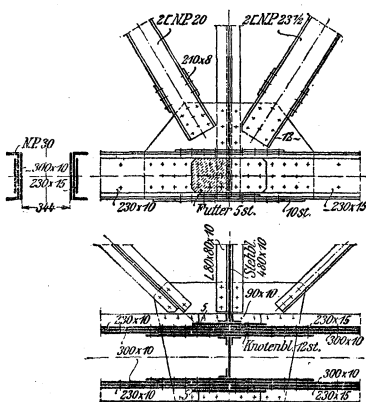
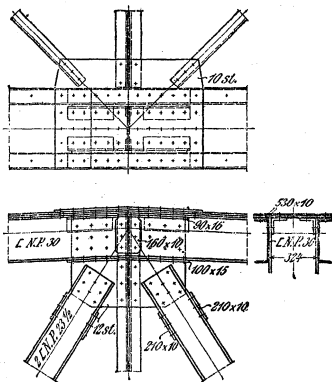


Abb. 115.



dichter als die beiden unteren setzen oder das innere Winkeleisen W anbringen (Abb. 113, vgl. auch Abb. 115). Durch dieses werden die Niete der am meisten beanspruchten oberen Nietreihe zweischnittig, und die von der Diagonale auf den Gurt übertragene Kraft wird besser auf die Gurtverstärkung (Platte p_3) übertragen.

Meistens ist die Knotenpunkt konstruktion mit einem Stosse von allen oder einzelnen Teilen des Gurtquerschnittes verbunden. Das

unter der Unterkante des Untergurtes vergrößert, wodurch die Randspannungen des Bleches verkleinert werden. Die obere Platte des Obergurtes (bzw. der Endstrebe), die nur der Knicksicherheit wegen nötig

Abb. 122.

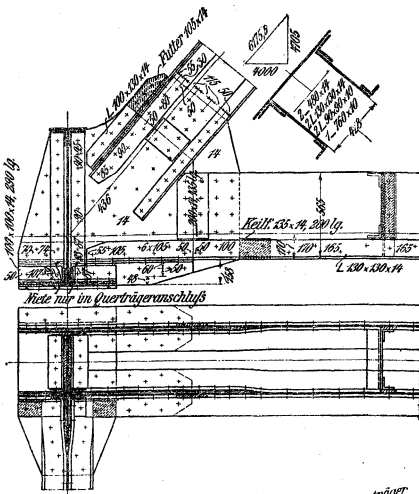


Abb. 123.

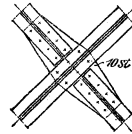


Abb. 124.

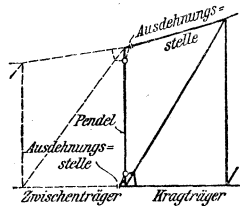
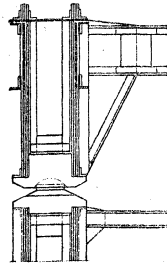
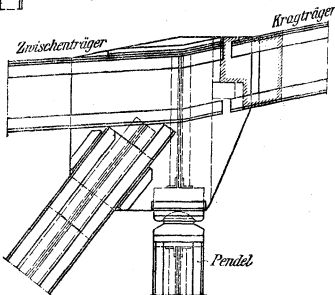


Abb. 125.



ist, ist, um das Aufschlitzen zu vermeiden, nicht an das Knotenblech angeschlossen.

Abb. 123 zeigt Punkt C in Abb. 117.

Abb. 124 u. 125²⁸⁾. Bewegliche Auflagerung des Zwischensträgers auf den Kragarm bei großer Brücke. Pendel der beiden Hauptträger oben miteinander durch Fachwerkriegel zu einem Pendelportal verbunden.

²⁸⁾ Nach einem Entwurfe der Gutehoffnungshütte.

Abb. 126 u. 127. Gelenkpunkt.²⁷⁾ Der Querträger und die Fußwegkonsole sind in ihren oberen Teilen fest mit den Vertikalen des Zwischenträgers und durch diesen hindurch auch miteinander verbunden; in

Abb. 126.

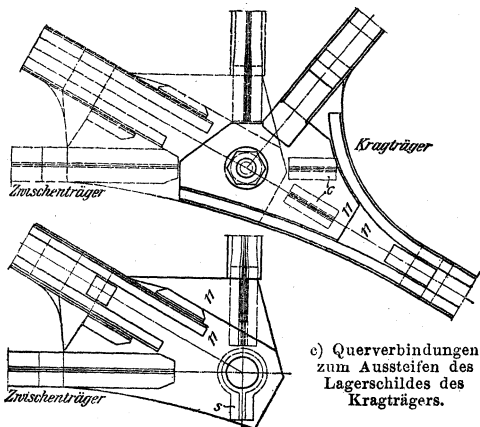
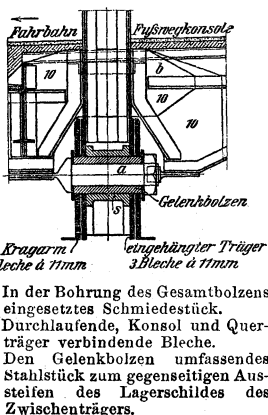


Abb. 127.



ihren unteren Teilen sind sie durch ein den ausgebohrten Gelenkbolzen durchdringendes Schmiedestück verbunden.

η) Durchbiegung der Fachwerkträger.

Für genauere Berechnungen siehe S. 122 bis 135.

Für überschlägliche Rechnungen sind die Formeln von Vianello⁸⁾ brauchbar.

1. Parallelträger nach Abb. 177b.

$$\delta = \frac{l}{2E} \left[\sigma_1 \frac{l}{2h} + \sigma_2 \left(\frac{h}{\lambda} + \frac{\lambda}{h} \right) + \sigma_3 \frac{h}{\lambda} \right].$$

Hierbei ist σ_1 die überall gleich groß gedachte Gurtspannung, σ_2 u. σ_3 die Diagonal- bzw. Vertikalspannung, λ die Feldweite.

Für σ_1 , σ_2 u. σ_3 sind die ermittelten oder geschätzten Durchschnittsspannungen für die Belastung einzuführen, bei welchen die größte Durchbiegung auftritt. Bei σ_1 kommt es wesentlich auf den mittleren Teil an. σ_1 u. σ_2 fallen erheblich kleiner aus als die Maximalspannungen.

Die Durchbiegungen sind erheblich größer als bei einem Blechträger gleicher Höhe, roh geschätzt 40 vH bei $\frac{h}{l} = \frac{1}{12}$ und 60 vH bei $\frac{h}{l} = \frac{1}{8}$.

2. Für den Parallelträger nach Abb. 77a sind die Durchbiegungen etwas geringer, weil Vertikalen fehlen und Diagonalen teilweise stärker. Der Unterschied oft 10 vH.

3. Parabelträger. Für gleichmäßige Vollbelastung bei konstanter Gurtspannung σ ist

$$\frac{\delta}{l} = \frac{\sigma}{E} \left(0,347 \frac{l}{h} + 0,772 \frac{h}{l} \right).$$

3. Lager.

a. Lager der Balkenbrücken.

α. Allgemeines.

Anforderungen sowohl der Hauptträger, des Windträgers und des Endgurträgers zu beachten. Auf statisch bestimmte Auflagerung des Windträgers etwa nach Abb. 128 wird in der Regel verzichtet.

Anordnung nach Abb. 128 gestattet freie Ausdehnung bei gleichmäßiger Erwärmung und bei gleicher Belastung beider Hauptträger durch senkrechte Kräfte ist, also hierfür statisch bestimmt. Ausbildung der Bewegungsvorrichtungen für Querbeweglichkeit meist weniger vollkommen. Man begnügt sich mit Spielräumen (Abb. 152). Nur selten, bei sehr breiten

Brücken, besonderer Rollensatz hierfür. Bei schmalen Brücken wird häufig ganz auf Querbeweglichkeit verzichtet.

Alle Lager werden als Kipplager ausgeführt. Drehung teils um eine Linie (Tangentialkipplager, Bolzenkipplager) teils allseitig (Kugelpipplager, sich immer mehr einbürgernd). **Material** für die Lagerkörper Stahlguss, mitunter Gufseisen, für Kippbolzen und Walzen Flufseisen oder Stahl, zwischen Lagerkörper und Auflagerquader meist Zement- oder Bleifuge.

Spielräume. Für einen beliebigen Spannungszustand der Stäbe erhält man die Längenänderung

$$\Delta' l = \sum S' \Delta s = \sum \frac{S' \cdot S s}{E \cdot F},$$

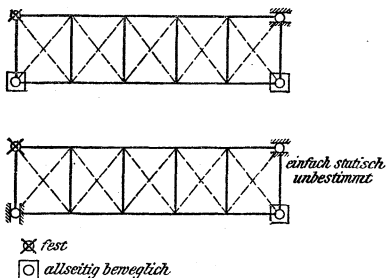
wo S' die Spannungen infolge des in Abb. 130 u. 131 angegebenen Belastungszustandes und S die wirklichen Spannungen bedeuten. (Vrgl. auch Abschn. Statik S. 118, Gl. 50).

Infolge einer beliebigen Temperaturänderung erhält man

$$\Delta'' l = \sum S' \epsilon t s, \quad \epsilon = 0,000012.$$

Für eine überall gleiche Temperaturänderung ist $\Delta' l = \epsilon t l$. Temperaturgrenzen in Norddeutschland — 25° und $+45^{\circ}$ C; also hat man im günstigsten Falle bei 10° Aufstellungstemperatur mit $\pm 35^{\circ}$ zu rechnen. Dann ist $\Delta'' l = 0,4$ bis $0,5$ mm für 1 m Stützweite. $\Delta' l$ wird,

Abb. 128 u. 129.



wenn das Lager unter einer geraden Gurtung liegt und die Spannung des Bruttoquerschnittes 1000 kg/qcm beträgt, etwa ebenso groß. Δl im ganzen demnach höchstens $\frac{l}{1000}$.

Bei Trägern von der Form der Abb. 130 und 131 wird Δl oft wesentlich größer ausfallen. Bei Abb. 130 ist Δl etwa $2 \frac{H}{h}$ mal so groß wie bei dem einfachen Parallelträger.

Abb. 130.

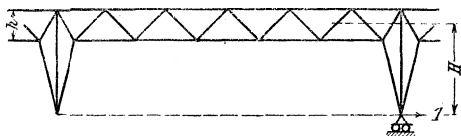
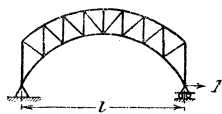


Abb. 131.



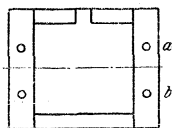
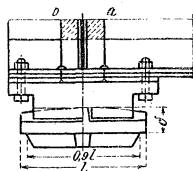
Bei den vollwandigen Trägern rechnet man zweckmäßig $\Delta l = h \cdot \varphi$ (vgl. Abb. 43) oder auch $\Delta l = 2(r+z) \cdot \varphi$ (vgl. Abb. 144). Zu beachten bei dem Endquerträger.

β. Lager für kleine Brücken. Gewölbte Platte.

Sowohl bei festem wie bei beweglichem Lager angewendet. In der einfachsten Form eine gewölbte Platte aus Gußeisen oder Stahl-

Abb. 132.

a) festes Lager.



b) bewegliches Lager.

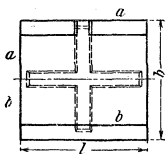
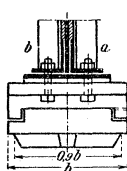


Abb. 133.

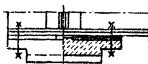


Abb. 134.



guß ohne besonderen oberen Lagerkörper. Unter dem Hauptträger eine 20 mm starke flußeiserne Platte, mit unten versenkten Nieten befestigt. Sicherung gegen Verschiebung beim festen Auflager durch Dorne. Bei den beweglichen Lagern ist seitliche Führung erforderlich. Wird diese durch Leisten bewirkt, so sollen diese, um Schmutzansammlung zu verhindern,

nicht an der gewölbten Platte, sondern an dem dann anzubringenden oberen Lagerkörper vorgesehen werden (Abb. 132 u. 133).

Festes Lager (Abb. 132a) von den beweglichen nur dadurch unterschieden, daß an den seitlichen Rändern des unteren Lagerkörpers zahnartige Erhöhungen angebracht sind, die in entsprechende Vertiefungen der Seitenleisten des oberen Lagerkörpers eingreifen.

Bei größeren Lagerkörpern Ausführung nach Abb. 134 zu empfehlen.

Die gewölbte Platte wird als Gleitlager in der Regel bis 15 m Stützweite ausgeführt. Als festes Lager kann sie auch für große Spannweiten angewendet werden (vgl. auch den kompakten Lagerkörper Abb. 141).

Die geringe Höhe vorteilhaft bei der Aufnahme von Horizontalkräften.

Abb. 135.

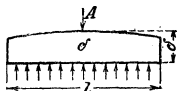
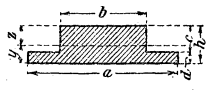


Abb. 136.



Berechnung der Stärke. Für Stahlgußplatten nach Abb. 135 erhält man mit $\sigma = 1 \text{ t/qcm}$, $d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 A \cdot l}{b}}$, wo A in t, und für Gußeisen mit $\sigma = 0,25 \text{ t/qcm}$, $d = \sqrt{\frac{3 A \cdot l}{b}}$.

Bei Lagerkörpern nach Abb. 132 u. 136 ermittelt man nötigenfalls die erforderliche Mindeststärke h durch Ausprobieren, indem man die Spannungen mit Hilfe der Formel S. 1043 ermittelt. Bezeichnung wie bei Abb. 154.

γ. Lager für mittlere und größere Balkenbrücken.²⁹⁾

I. Feste Lager.

Bolzenkipplager (Abb. 137 u. 138).

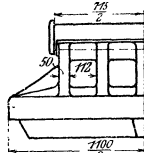
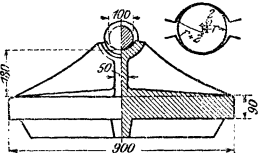
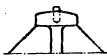
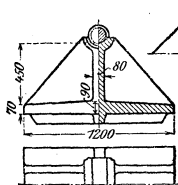
Der Kippbolzen wird in zweierlei Weise gelagert:

1. Er ist genau in die Lagerschale eingedreht, Anlagewinkel $S_0 = 45^\circ$ angenommen (Abb. 139).

Abb. 137.

Abb. 137 a.

Abb. 138.



Nimmt man an $\sigma_\varphi = \sigma \cos \varphi$ (Müller-Breslau), so erhält man $d = \frac{1,6 A}{\sigma l}$. Für Stahl bei etwas größeren Brücken $\sigma = 1,6 \text{ t/qcm}$ zulässig, also $d = \frac{A}{l}$. Bei kleineren Brücken erhält man hiernach praktisch zu kleine Durchmesser und wählt dann d mindestens 8 cm.

²⁹⁾ Bei den meisten der folgenden konstruktiven Abbildungen von Lagern sind — teilweise nach einigen Abänderungen — neuere Konstruktionszeichnungen der Brückenbauanstalten Jucho in Dortmund, Beuchelt & Co. in Grünberg und Gutehoffnungshütte in Sterkrade benutzt worden.

Mit dem Spannungsverteilungsgesetz $\sigma_\varphi = \frac{\sigma \cos \pi \varphi}{2 \varphi_0}$ erhält man entsprechend $d = \frac{2,12 A}{\sigma l}$.

2. Der Kippbolzen hat einen etwas geringeren Durchmesser als die Schale (empfehlenswert!) (Abb. 140).

Abb. 139.

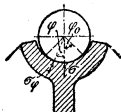
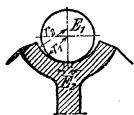


Abb. 140.



Die Festigkeitsberechnung wird jetzt allgemein nach den Formeln von Hertz²⁰⁾ (vgl. die Bemerkungen bei der Berechnung der Walzen) ermittelt. Näheres siehe I. Bd. Abschn. Festigkeitslehre S. 529.

Mit $m = 3$ (siehe Abschn. Festigkeitslehre) erhält man

$$\sigma = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}} \cdot \sqrt{P \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} = C \sqrt{P \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}$$

wo P Belastung der Längeneinheit des Bolzens.

Ist $\frac{r_2}{r_1}$ ein bestimmter Wert α , so erhält man

$$\sigma = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\alpha - 1}{\alpha} \frac{1}{2\pi} \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}} \sqrt{\frac{P}{r_1}} = C_1 \sqrt{\frac{P}{r_1}}$$

und

$$r_1 = \left(\frac{C_1}{\sigma} \right)^2 P = C_2 \cdot P.$$

Für die verschiedenen Werte E , α und σ und für P in t/cm lassen sich C , C_1 und C_2 aus nachstehender Tabelle entnehmen.

	Stahl $E_1 = E_2 = 2200$ $\sigma = \sigma_s$ $C = 19,8$			Stahl u. Flußeisen $E_1 = 2150, E_2 = 2200$ $\sigma = \sigma_f$ $C = 19,7$			Guß- u. Flußeisen $E_1 = 2150, E_2 = 1000$ $\sigma = \sigma_g$ $C = 15,6$		
$\alpha = \frac{r_2}{r_1}$	1,06	1,04	1,02	1,06	1,04	1,02	1,06	1,04	1,02
C_1	4,72	3,89	2,78	4,70	3,87	2,76	3,72	3,07	2,19
C_2	$\left. \begin{array}{l} \sigma_s = 3,25 \\ \sigma_f = 2,5 \\ \sigma_g = 2,0 \end{array} \right\}$	2,11	1,43	0,731	3,53	2,40	1,22	3,46	2,35
	$\left. \begin{array}{l} \sigma_s = 6,5 \\ \sigma_f = 5,0 \\ \sigma_g = 4,0 \end{array} \right\}$	0,527	0,358	0,183	0,881	0,599	0,305	0,864	0,588
									0,300

Die untersten Spannungszahlen (6,5, 5,0 und 4,0) sind die für die Walzen der beweglichen Lager angenommenen, scheinen aber hier wegen der breiteren Berührungsfläche reichlich hoch.

²⁰⁾ Hertz, Gesammelte Werke Bd. I S. 155.

Tangentialkipplager (Abb. 137a u. 149). Der Halbmesser der gewölbten Fläche wird meistens nach den Formeln für die Walzen bestimmt (S. 1041).

Kugelkipplager (Abb. 141 bis 143). Entweder mit demselben Halbmesser der einander berührenden Kugelflächen oder besser mit etwas kleinerem der konvexen Fläche.

Abb. 141.

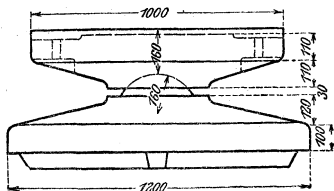


Abb. 142.

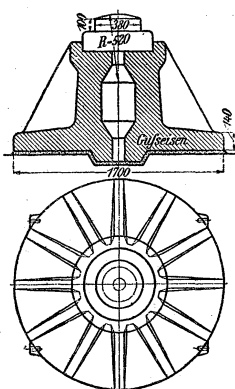
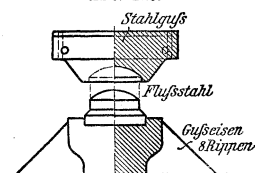


Abb. 143.



Im ersten Fall hat man unter der Annahme $\sigma_\varphi = \sigma \cos \varphi$ (Abb. 139)

$$A = 0,667 \pi r^2 \sigma (1 - \cos^3 \varphi).$$

Im zweiten Falle erhält man bei gleichem Elastizitätsmaße von Kugel und Schale nach der Formel von Hertz mit $m=3$

$$\sigma = 0,394 \sqrt[3]{A E^2 \left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 \cdot r_2} \right)^2}.$$

Ist $r_2 = \alpha \cdot r_1$, erhält man

$$\sigma = 0,394 \sqrt[3]{\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)^2 E^2 \frac{A}{r_1^3}}$$

und

$$r_1 = 0,247 \frac{E}{\sigma} \cdot \frac{\alpha - 1}{\alpha} \sqrt{\frac{A}{\sigma}}.$$

Für $E = 2200$ (Stahlguß) wird:

$$\sigma = 66,6 \sqrt[3]{\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)^2 \frac{A}{r_1}}, \text{ und } r_1 = \frac{543}{\sigma} \frac{\alpha - 1}{\alpha} \sqrt{\frac{A}{\sigma}} = C_3 \sqrt[3]{A}.$$

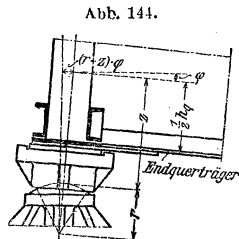
Für Kugel und Ebene wird $\alpha = \infty$; und $\frac{\alpha - 1}{\alpha} = 1$.

Für $\sigma = 6,5$ und $3,25$ können die Werte C_3 folgender Tabelle entnommen werden:

$\alpha = \frac{r_2}{r_1}$	1,02	1,04	1,06	∞
$\sigma = 6,5$	0,642	1,26	1,86	32,8
$\sigma = 3,25$	1,82	3,57	5,25	92,7

Kugelkipplager sollen nur angewendet werden, wenn für eine Querbeweglichkeit gesorgt ist.

Liegt die neutrale Schicht des Endquerträgers in der Höhe z über der Kugelfläche, so ist bei einem Winkel φ der Endtangente (vgl. S. 1007 u. Abb. 43) die Verschiebung auf jeder Seite $(R + z) \varphi$. Als Gesamtgröße der Querbewegung ergibt sich also für beide Auflager zusammen der Betrag $2(R + z) \varphi$ (Abb. 144).



II. Bewegliche Lager (Abb. 145 bis 153).

Bis etwa 15 m Stützweite verwendet man Gleitlager, darüber hinaus Walzen- oder Stelzenlager.

Der obere Teil des Lagers, insbesondere die Kippvorrichtung (zylindrischer Bolzen, Zylinderfläche, Kugelfläche) wird wie beim festen Lager ausgeführt.

Walzen aus geschmiedetem Flußeisen oder Stahl bis zu 30 cm Durchmesser, darüber hinaus Stelzen (Abb. 151) oder Konstruktionen, wie beispielsweise Abb. 152.

Walzenzahl gering. Eine Walze hat den Vorzug auch als Kippvorrichtung zu dienen. Sie trägt bei 30 cm 1,6 t/lfdcm bei Stahl und 1 t/cm bei Flußeisen.

Zwei Walzen sind einer größeren Zahl vorzuziehen wegen der sicher zu berechnenden Kraftverteilung. Sicherung gegen seitliche Verschiebungen entweder durch seitliche Bunde an den Walzen oder nach Abb. 147 u. 151. Bei beiden Ausführungsarten einige mm Spielraum für seitliche Bewegung! Sowohl bei Walzen wie bei den Stelzen Führungen zwecks Erhaltung der parallelen Lage (Abb. 146 bis 149 u. 151). Bei Stelzen Vorrichtungen erforderlich, die ein Schiefstellen verhindern

Abb. 145.

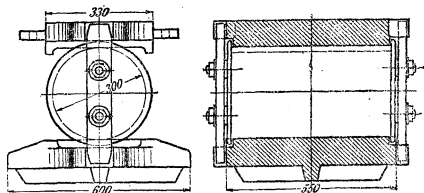
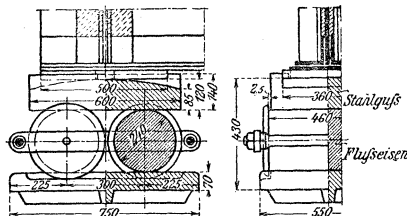


Abb. 146.



(vgl. Abb. 151). Dieselbe Vorrichtung in Abb. 145, um den rechten Winkel zwischen der Walze und der Hauptträgerachse dauernd zu sichern (besonders nötig bei seitlichen Spielräumen).

Abb. 147.

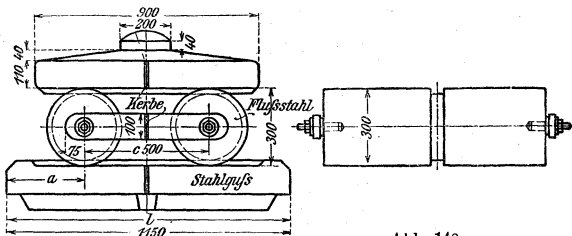


Abb. 148.

Berechnung der Walzen. Nach der Formel von Hertz³¹⁾ (S. 1038) erhält man für $r_2 = \infty$ und für P in t/cm

$$\sigma = 0,598 \sqrt{\frac{P}{r} \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}}$$

und für $E_1 = E_2 = E$:

$$\sigma = 0,423 \sqrt{\frac{P E}{r}},$$

ferner:

$$d = 2r = 0,716 \frac{P}{\sigma^2} \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$$

$$\text{bzw. } d = 0,358 \frac{PE}{\sigma^2}.$$

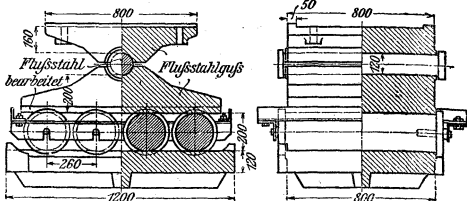


Abb. 149.

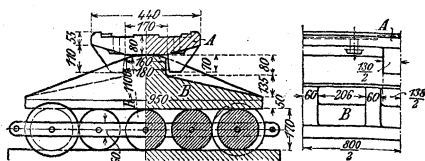
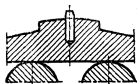


Abb. 151.

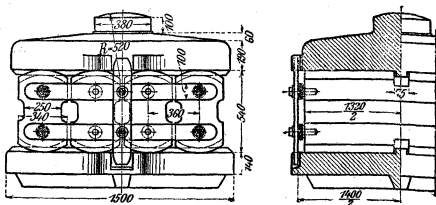
Abb. 150.



Nach Einsetzung der Werte für σ und E erhält man

$$d = C_4, P = P : \sigma_d$$

und zulässige Belastung
eines cm Walze:



31) Kritik dieser Berechnungsweise s. Bach, Elastizität und Festigkeit 1905 S. 178; andere Berechnungsweise s. Otzen, Anhang zur 2. Auflage der Zahlenbeispiele usw. Wiesbaden 1909.

$P = \sigma_d \cdot d = d : C_4$, wo σ_d mittlere Druckspannung in der Ebene $mno p$ (Abb. 153).

Die Werte C_4 und σ_d sind für verschiedene Werte σ und E nachstehend tabellarisch zusammengestellt. σ_d ist, um übersichtliche Zahlen zu erhalten, in kg/qcm angegeben.

Stahl			Stahl u. Flußstahl			Flußstahl		Fluß- u. Gußeisen			Gußeisen	
$E_1 = E_2 = 2200 \text{ t/qcm}$			$E_1 = 2150, E_2 = 2200 \text{ t/qcm}$			$E = 2150 \text{ t/qcm}$		$E_1 = 2150, E_2 = 1000 \text{ t/qcm}$			$E_1 = E_2 = 1000 \text{ t/qcm}$	
σ t/qcm	C_4 cm/t	σ_d kg/qcm	σ t/qcm	C_4 cm/t	σ_d kg/qcm	C_4 cm/t	σ_d kg/qcm	σ t/qcm	C_4 cm/t	σ_d kg/qcm	C_4 cm/t	σ_d kg/qcm
7	16,1	62,2	5,5	25,7	38,9	25,4	39,3	4,5	24,1	41,4	17,7	56,6
6,5	18,6	53,6	5,0	31,1	32,1	30,8	32,5	4,0	30,5	32,7	22,4	44,7
6	21,9	45,7	4,5	38,4	26,0	38,0	26,3	3,5	39,9	25,1	29,2	34,2
5,5	26,0	38,4	4,0	48,7	20,6	48,1	20,8	3,0	54,3	18,4	39,8	25,1

Bei einer oder zwei Walzen Spannungszahlen der zweiten Horizontalreihe, bei drei oder mehreren Walzen wegen der unsicheren Verteilung 0,5 t/qcm geringere Spannungen σ (dritte Horizontalreihe).

Die Windkräfte bewirken eine ungleichmäßige Beanspruchung der Walzen in der Länge, weshalb gegebenenfalls (kurze starke Walzen!)

Abb. 152.

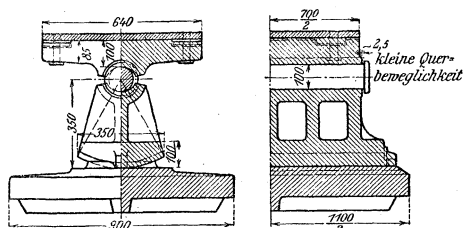
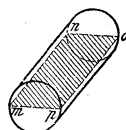


Abb. 153.



die zulässigen Spannungen zu verkleinern sind. Dieselbe ungleichmäßige Beanspruchung

erfahren die Walzen bei den Tangentialkipplagern und Bolzenkipplagern durch die Durchbiegung des Endquerträgers. Deshalb sind Kugelkipplager vorzuziehen, u. zw. besonders diejenigen mit verschiedenen Radien der konkaven und konvexen Flächen.

III. Lagerkörper.

Der untere Lagerkörper der festen Lager und obere der beweglichen Lager mit mehreren Walzen sind in ähnlicher Weise beansprucht und werden als in einem Punkte unterstützte Balken berechnet. Häufig erhält der Lagerkörper des festen Lagers eine solche Höhe, daß Kippbolzen und Auflagerquader dieselbe Höhenlage bekommen, wie bei dem beweglichen Lager. Es werden sich dann verhältnismäßig geringe Beanspruchungen ergeben.

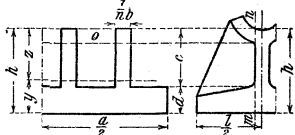
Der untere Lagerkörper des festen Auflagers wird deshalb oft als Rippenkörper ausgeführt (Abb. 137 u. 138), auch wenn der über den

Walzen befindliche Lagerkörper des beweglichen Lagers, um an Höhe zu sparen, als voller Körper ausgeführt wird. Gufseisen mit einem eingesetzten oberen Teil aus Stahl (s. Abb. 142).

Querschnittsbemessungen der nicht mit Rippen versehenen Lagerkörper wie bei der gewölbten Platte (S. 1037).

Die Spannungen in den mit Rippen versehenen Lagerkörpern können mit Hilfe der im folgenden, angegebenen Formeln ermittelt, und die Abmessungen durch Versuchsrechnungen erhalten werden. Die durch den Schnitt durch die Lagerschale sich ergebenden mit o angedeuteten Querschnittsteile (Abb. 154) sind vernachlässigt.

Abb. 154.



$$y = \frac{d}{2} + \frac{b c h}{2(a d + b c)}$$

$$J = \frac{b}{3} \cdot z^3 + \frac{a}{3} y^3 - \frac{a-b}{3} (y-d)^3.$$

Ist $y < d$, wird

$$J = \frac{b}{3} z^3 + \frac{a}{3} y^3 + \frac{a-b}{3} (d-y)^3.$$

Beispiel. $A = 400$ t, Grundfläche $a \cdot l = 120 \cdot 120$ cm, $d = 12$ cm, $c = 24$ cm, $h = 36$ cm, 4 Rippen je 6,5 cm, also

$$b = 27 \text{ cm,}$$

$$M = 200 \cdot 30 = 6000 \text{ tcm,}$$

$$y = 6 + \frac{27 \cdot 24 \cdot 36}{2(120 \cdot 12 + 27 \cdot 24)} = 11,58 \text{ cm, } z = 36 - y = 24,42 \text{ cm,}$$

$$J = 9 \cdot 24,42^3 + 40 \cdot 11,58^3 + 31 \cdot 0,42^3 = 193\,700 \text{ cm}^4,$$

$$\sigma_0 = \frac{6000 \cdot 24,42}{193\,700} = 756 \text{ kg/qcm.}$$

Bei Lagern mit zwei Walzen (Abb. 146 u. 147) ist das größte Moment in der Mitte des oberen Lagerkörpers gleich dem Moment unter der Walze der unteren Lagerplatte, wenn $c = 0,268 l$ (Bezeichn. Abb. 147). Soll bei zwei Walzen das Moment unter den Walzen absolut genommen gleich dem Moment in der Mitte der unteren Lagerplatte sein, so muß $c = 0,556 l$ sein.

Bei Pfeilern auf unsicherem Baugrunde sind die Längenabmessungen der Lagerkörper der beweglichen Lager sehr reichlich zu wählen und die Spielräume müssen größere Bewegungen gestatten. Sind in solchen Fällen nur zwei Walzen vorhanden, so ist die Entfernung derselben nicht zu klein zu wählen, damit bei größerer Bewegung die eine Walze nicht überanstrengt wird (Abb. 147).

Aber auch bei gewöhnlichem Baugrunde sind die theoretisch sich ergebenden Spielräume erfahrungsgemäß zu knapp.

Wo große Bewegungen befürchtet werden, muß man bei Stelzenlagern Vorkehrungen treffen, um die Brücke zwecks Aufrichten der Stelzen zu heben: besondere Lager zum Aufsetzen der Hebebocke an der Unterseite des Endträgers, der hierfür zu berechnen ist.

d) Lager der Bogenbrücken vrgl. Abb. 155¹⁶⁾ u. 156.

e) Beanspruchung des Auflagerquaders:

Es sei $\sigma_a = \frac{A}{F}$ = durchschnittliche Pressung der Zementfuge zwischen Lagerkörper- und Auflagerquader infolge der senkrechten Auflagerkraft, σ_w die vom horizontalen Auflagerdruck infolge der Windbelastung, σ_b die von der Bremskraft hervorgerufene Pressung.

Bei Auflagerquadern von Granit oder gleichwertigem Material nehme man bei $l \geq 100$ m, $\sigma_a = 25 + 0,025 l$ kg/qcm, σ_a bei größeren Spannweiten nicht nennenswert mehr als 50 kg/qcm.

Für die Kantenpressung in einer Ecke $\sigma_a + \sigma_w + \sigma_b$ kann eine 20 bis 25 vH höhere Spannung zugelassen werden.

Bei Eisenbahnbrücken ganz geringer Stützweite (Stöfse) $\sigma_a = 10$ bis 15 kg/qcm.

Bei festen Lagern mit hohen Lagerkörpern (Abb. 137) von ein- gleisigen Eisenbahnbrücken wird $\sigma_b + \sigma_w$ leicht 0,8 bis 1 σ_a . Nimmt man an, daß die Kantenpressung gegenüber σ_a um 100 vH erhöht wird und daß sie den Wert $25 + 0,025 l$ um 20 vH überschreiten wird, so erhält man zur überschläglichen Bestimmung der Grundfläche hoher Lagerstühle des festen Lagers $\frac{A}{F} = 15 + 0,015 l$.

Bei einer Zugstellung mit der Lokomotive gegen das bewegliche Lager bremsend, wird $\sigma_w + \sigma_b$ oft größer als σ_a , so daß Zugspannungen entstehen. Um Lockerung der Fuge zu vermeiden, ist in solchen Fällen die Grundfläche des Lagerstuhles zu vergrößern bzw. der Lagerkörper des festen Auflagers unter Verzicht auf dieselbe Höhenlage der Auflagersteine an beiden Widerlagern niedriger auszubilden.

Die Zementfuge unter dem Lagerkörper, die besser zu stopfen, statt zu untergießen ist, sowie die Zementfuge unter dem Auflagerquader erhält beim Stopfen mindestens 20 mm Stärke.

Um Hohlräume zu vermeiden, verputzt man die untere Fläche des Auflagersteines vor dem Verlegen glatt mit Zement.

Auflagerquader aus einem Stück werden in Größen bis über 2 m im Quadrat ausgeführt.

Abb. 155.

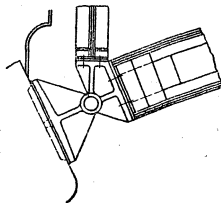
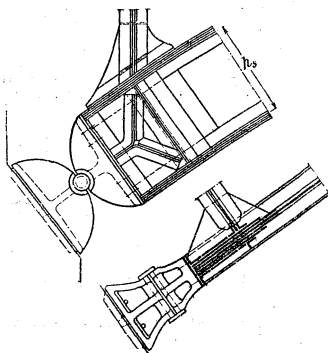


Abb. 156.



4. Raumverbände.

a) Windverbände, Queraussteifungen.

Die als Windverbände bezeichneten Horizontalverbände dienen zur Aufnahme der senkrecht zur Brückenachse wirkenden Horizontalkräfte und zur Sicherung gedrückter Gurte gegen seitliches Ausknicken. Je nach Erfordernis ein oder mehrere durchgehende Windverbände. Jeder Gurtknotenpunkt, der nicht gleichzeitig Knotenpunkt eines Windträgers ist, muß in der Regel an einen solchen mittels einer biegungsfesten oder fachwerkartigen Queraussteifung angeschlossen werden (Gesamtanordnung siehe Abb. 157 bis 162). Der Windträger kann eben oder tonnenförmig sein. Soweit möglich werden bereits vorhandene Konstruktionsteile als dessen Glieder benutzt: Als Gurte des Windträgers wird in der Regel ein Hauptträgergurtpaar verwendet und für Windverbände in der Fahrbahnhöhe sind die Querträger meistens auch Windträgerpfosten. Wird nur ein Windverband angebracht, so versucht man, diesen in Fahrbahnhöhe anzubringen, was jedoch nicht immer möglich (vgl. Abb. 162). Man hat hier den Nachteil großer senkrechter Mehrbelastungen des Hauptträgers auf der Leeseite.

Auch bei gekreuzten Winddiagonalen zwischen steifen Pfosten verwende man steife Profile, wenn Mangel an Höhe nicht zur Verwendung von Flacheisen zwingt. Die Dehnungen bzw. Verkürzungen, welche die Gurte als Hauptträgerglieder erfahren, verursachen Spannungen in den gekreuzten Winddiagonalen.

Ist σ_g Gurtspannung, σ_d Diagonalspannung, d und g die entsprechenden Stablängen, so ist annähernd $\sigma_d = \sigma_g \left(\frac{g}{d} \right)^2$ (Vianello.⁸⁾)

Abb. 157.

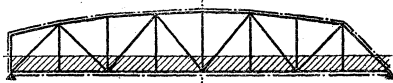


Abb. 158.

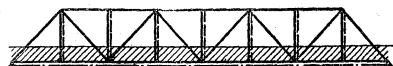


Abb. 159.

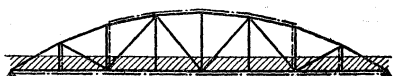


Abb. 160.

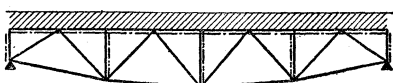


Abb. 161.

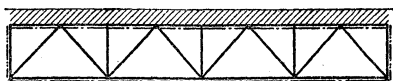
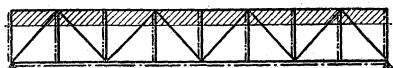


Abb. 162.



Bei kleineren und mittleren Stützweiten werden tonnenförmige Windverbände meistens abgerollt als ebene Träger berechnet. Betreffs genauerer Berechnung siehe Müller-Breslau.³²⁾

Abb. 163 bis 168 am häufigsten vorkommende Windverbände. Die Anordnung des Endfeldes Abb. 163a wird der Anordnung 163b vorgezogen, wenn der Anschluß infolge Auflagerkonstruktionen usw. Schwierigkeiten verursacht.

Anordnung Abb. 164, wenn Breite im Verhältnis zur Feldweite groß. Genügende Ausbildung des Kreuzungsknotenpunktes vorausgesetzt ist dieses System auch bei Flacheisendiagonalen steif, allerdings dann

Abb. 163.

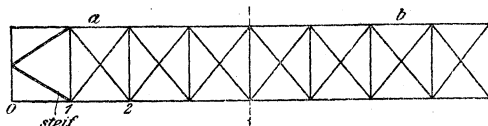


Abb. 164.

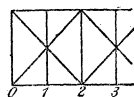


Abb. 165.

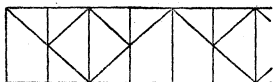


Abb. 166.

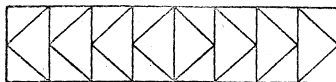


Abb. 167.

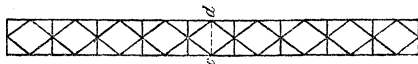
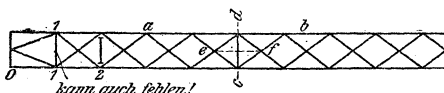


Abb. 168.



von veränderlicher Gliederung. Bei Aenderung der Querkräfte in den Punkten 1, 3 usw. erhält man im allgemeinen in jedem Doppelfelde drei gezogene und eine unwirksame Halbdigonale.

Abb. 165 bei breiten Brücken im Materialver-

brauch sparsam. Nachteil: die beiden Hauptträger werden nicht genau gleich (unbequem für Detailzeichnung wie für Werkstatt).

Anordnung Abb. 166 tritt bei breiten Brücken in Wettbewerb mit Abb. 164. Besonders häufig bei nicht in der Fahrbahn befindlichen Windverbänden. Vorteil: Alle Stäbe, auch die Pfosten erhalten geringe Knicklängen. Nachteil gegen Abb. 164: Alle Diagonalen müssen knicksicher sein.

Abb. 167 für große Feldweite. Die Windträgerknotenpunkte liegen außerhalb der Hauptträgerknotenpunkte (Abb. 169), die Knicklänge der Winddiagonalen wird möglichst gering, und für den Fall gedrückter Gurtungen wird die seitliche Knicklänge dieser auf die Hälfte verkleinert.

Abb. 168 entsteht durch Weglassen der Pfosten aus Abb. 163a. Oft im oberen Windverband bei Fahrbahn unten verwandt, auch zweck-

³²⁾ Müller-Breslau, Beiträge zur Theorie der Windverbände eiserner Brücken. Z. f. B. 1904 und 1905.

mässig in der Fahrbahnebene bei der Anordnung einer frei eingehängten, im Verhältnis zu den Hauptträgern längsbeweglichen Fahrbahn (vgl. Bauart Harkort, S. 1050).

Abb. 167 u. 168b haben den Stab $c-d$ oder auch $e-f$ bzw. einen sonst geeigneten Ersatzstab nötig, damit sie steife Systeme bilden.

Abb. 168a hat, wenn Stab 1-1 eingezogen, schon ohne eine Verbindung $e-f$ einen überzähligen Stab.

Winddiagonalen in der Ebene der Fahrbahn können bei kleineren und mittleren Spannweiten wegfallen, wenn eine hinreichend steife Fahrbahntafel vorhanden ist, insbesondere Buckelplatten und ebene Bleche, die an Konstruktionsteile angeschlossen sind, die als Windträgergurte dienen können.

Querschnitt der Winddiagonalen. Besonders bei den Windverbänden in der Fahrbahn sehr häufig zwei dicht zusammenliegende Winkeleisen LL .

Der Querschnitt Abb. 93 Nr. 3 ist für Knick vorteilhafter, läßt sich jedoch wegen Mehrbedarfes an Höhe nicht immer verwenden. Bei großen Längen spart man gegenüber den LL -Querschnitt erheblich an Eisengewicht (etwa 30 vH), wenn ein Querschnitt nach Abb. 170 gewählt wird.

In der folgenden Tabelle sind für diesen Querschnitt die Stehblechhöhen so gewählt, daß J_1 und J_2 etwa gleich groß sind.

	I 160.8 L 50.100.8	I 200.10 L 65.130.10	I 250.12 L 80.160.12	I 150.9 L 65.100.9	I 180.10 L 80.120.10
s	3,58	4,45	5,56	3,5	4,22 cm
J_1	683	1727	3541	661	1286 cm ⁴
J_2	599	1629	3635	685	1300 cm ⁴
F_{brutto} . . .	35,8	57,2	85	41,9	56,2 qcm
$l_k = 65,2 i$.	267	344	421	258	312 cm

$l_k = 65,2 i$ ist die Knicklänge nach Euler bei 1000 kg/qcm Beanspruchung und fünffacher Sicherheit.

Der exzentrische Anschluß verlangt eigentlich größeres J_1 , wegen teilweiser Einspannung unter Umständen ein kleineres J_2 genügt (vgl. S. 1025 und Fußnote 23)).

Bei großen Stablängen sind stark gespreizte Querschnitte am Platze, die außerdem Widerstand gegen Durchbiegung besitzen.

Abb. 171a bis c, Diagonale nebst Schnittpunkt mit dem zugehörigen gekreuzten Stabe. Abb. 172 Anschlußkonstruktion, welche ermöglicht,

Abb. 169.

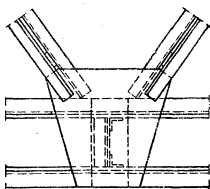
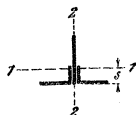


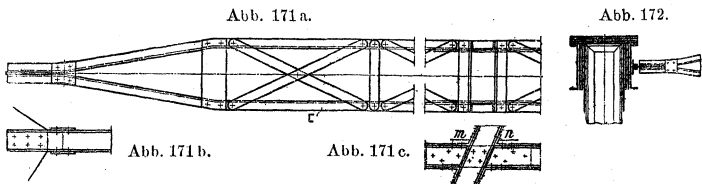
Abb. 170.



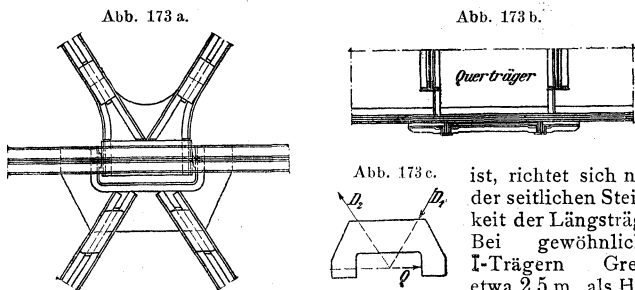
dafs beide Hauptträger sich verschieden stark durchbiegen, ohne dafs Biegemomente in der Querkonstruktion entstehen.

Abb. 173 a u. b²⁸⁾, Ueberführung des Windverbandes über das bewegliche Gelenk eines Gerberträgers, vrgl. Abb. 124 (Untersuchung des Knotenbleches auf Festigkeit erforderlich!). (Abb. 173 c.)

Außer dem Hauptwindverband braucht man bei Eisenbahnbrücken mit Querschwellenoberbau einen besonderen Verband zwischen den

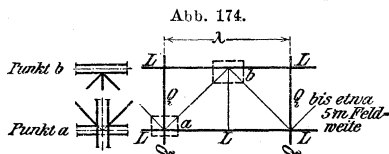


Längsträgern zur Sicherung der Knickfestigkeit des **Längsträgerobergurtes** und insbesondere auch zur Aufnahme der Seitenstöße der Fahrzeuge. Die Feldweite, bei der ein solcher Verband erforderlich



einer Achsenlast, also 4 bis 5 t angenommen, in neuerer Zeit auch 6 t.

Abb. 174 bis etwa 5 m Feldweite.



ist, richtet sich nach der seitlichen Steifigkeit der Längsträger. Bei gewöhnlichen I-Trägern Grenze etwa 2,5 m, als Horizontalstofs wird oft $\frac{1}{4}$ seitliche Kräfte aufzunehmen, dürfen die Stäbe im Punkte *b* nach Abb. 171 b zusammenlaufen, wodurch das Knotenblech etwas kleiner wird. Abb. 177 hat den Vorteil, dafs kein Windträgerknotenblech in eine Ecke kommt.

Abb. 178²⁹⁾ ungleichschenkliges Winkelleisen als Knotenblech (Pkt. b. Abb. 177). Knotenblech meist an dem schrägen inneren Flansch

²⁹⁾ Nach Schaper, Eiserne Brücken, 2. Aufl. Berlin 1911. Verlag von W. Ernst & Sohn.

des Längsträgerobergurtes befestigt, und zwar entweder bei einer der Flanschneigung entsprechenden geringen Abbiegung des Knoten-

Abb. 175.

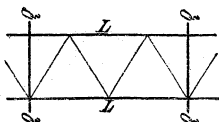


Abb. 176.

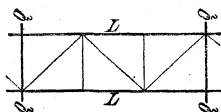


Abb. 177.

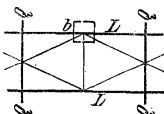
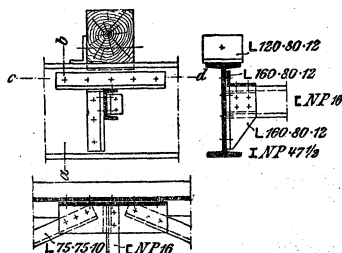


Abb. 178.



bleches (Abb. 178b u. c), oder unter Zuhilfenahme eines keilförmigen Futters.

Berechnung von ebenen Windverbänden.

Es wird verwiesen auf die Abhandlung von Kommerell³⁴⁾

b) Bremsverbände. Erforderlich bei Eisenbahnbrücken mit Querschwellenoberbau.

Bei ganz kleinen Brücken kann man annehmen, dass die Bremskräfte durch die Schienen allein über die Brücke hinweg auf die angrenzende Bettung

übertragen werden.

Abb. 179. Bremsverband an jedem Brückenende. Damit die Spannkraft des Hauptträgergurtes nicht durch die steifen Endverbände teilweise auf die Längsträger übertragen werden, ist in der Mitte ein Längsträgerauszug angebracht.

Bei kleinen Brücken wird der Längsauszug weggelassen. Bei Fahrbahn unten kann mit einer gewissen Nachgiebigkeit der gewöhnlichen Längsträgeranschlüsse gerechnet werden, so dass, trotz Endverbänden, nicht allzugroße Zugkräfte aus den Hauptträgeruntergurten auf die Längsträger übertragen werden.

Abb. 179.

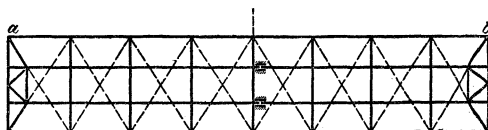
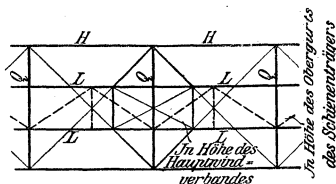
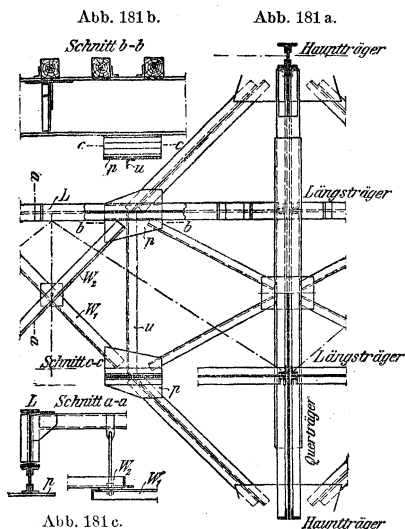


Abb. 180.



³⁴⁾ Tafeln zur Berechnung ebener Windverbände eiserner Brücken von Kommerell Z. d. B. 1911 S. 257, ferner Sonderdruck, Berlin 1911, Verlag von W. Ernst & Sohn.

Abb. 180. Ein einziger Verband in der Mitte. Abb. 181a – c.⁴⁸⁾ Einzelheiten dazu. Bei dieser Anordnung erhalten die Querträger an den Brückenden seitliche Biegebeanspruchungen (vgl. c).



e) Verbindung von Fahrbahn und Hauptträger.

Bei fester Verbindung zwischen Quer- und Hauptträgern werden die in der Mitte durch die Längsträger festgehaltenen Querträger durch die Längenänderung der Gurte seitlich verbogen. Eine Abhülfe (erfahrungsgemäß nicht immer erforderlich) z. B. durch Längsträgerauszüge (Abb. 179) oder durch eine frei eingehängte Fahrbahn, Bauart Harkort, möglich.³⁵⁾

Durch biegebefestigte Verbindung von Quer- und Hauptträgern in der Querrahmenebene entstehen Zwängungsspannungen, verbunden mit einer Verdrehung der

ganzen Brückenkonstruktion, wenn durch Nutzlast und senkrechte Mehrbelastung infolge Winddruckes verschiedene Durchbiegungen beider Hauptträger hervorgerufen werden. (Bei zweigleisigen Eisenbahnbrücken Mehrbelastung = $P \cdot \frac{\text{Gleisentfernung}}{\text{Brückenbreite}}$ im regelmäßigen

Betrieb!) Diese Zwängungsspannungen werden meistens mit der Spannweite zunehmen. Abhülfe hiergegen besonders bei Bogenträgern mit Zugband die Harkortsche Bauart³⁵⁾: Der Windträger, etwa wie Abb. 168 ohne Pfosten. Die Querträger sind gelenkartig aufgehängt in steifen, oder fest verbunden mit hinreichend biegsamen Hängestangen, und sind in den Windträger frei eingehängt (angedeutet Abb. 168. Punkt 2), und übertragen durch Drucklager die Horizontalkräfte der Fahrbahn auf die Windträgerknotenpunkte.

Ofters sind auch freie, auf den Untergurt gelenkartig gelagerte Querträger ausgeführt, die keinen Bestandteil des Querrahmens bilden (System Beleupski).

In beiden Fällen Anschluß des Windverbandes zweckmäßig nach Abb. 172.

d) **Steife Rahmen** zur Aufnahme der vom **oberen Windverbande** zu übertragenden horizontalen Querkraft.

³⁵⁾ Näheres in der Broschüre der Gesellschaft Harkort-Duisburg: Die Entwicklung der Fachwerkbrücke mit aufgehobenem Horizontalschub, verbunden mit der freischwebend eingehängten Fahrbahnplatte.

Betreffs eingehender statischer Untersuchung (vgl. Müller-Breslau³⁶⁾ und Björnstad.³⁷⁾

Nimmt man die Windkraft nach Abb. 182 angreifend und die horizontale Auflagerkraft auf beide Auflager verteilt an, so ist die Normalkraft des Riegels = 0 und das Moment in dessen Mittelpunkt O auch = 0. Es bleibt dann nur eine statisch unbestimmte Größe, als welche Q_0 gewählt werde.

Nach Vianello⁸⁾ ist (Abb. 183)

$$Q_0 = W \cdot \frac{h}{b} \cdot \frac{3h:J_v + b:J_q}{b:J_r + 6h:J_v + b:J_q}$$

$$Q_u = W \cdot \frac{h}{b} - Q_0$$

und der Wendepunkt der elastischen Linie des Ständers liegt in einer Entfernung s von oben, wo

$$s = \frac{b \cdot Q}{W} = h \cdot \frac{3h:J_v + b:J_q}{b:J_r + 6h:J_v + b:J_q}$$

Die entsprechenden Biegemomente sind $Q \cdot x$ bzw. $\frac{W}{2} \cdot y$. Q und s werden nach diesen Formeln genau genug ermittelt, auch

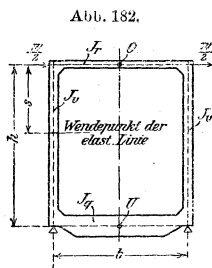


Abb. 183 a.

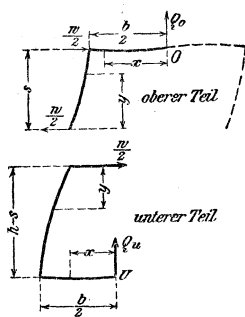


Abb. 183 b.

Abb. 184.

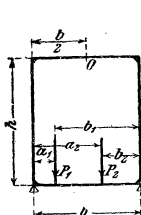
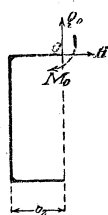


Abb. 185.



wenn die angreifende Kraft W und die horizontale Auflagerkraft in anderer Weise auf die beiden Seiten verteilt ist, z. B. beide allein links angreifen. Bei senkrechter Belastung des Querträgers mittels Einzellasten sind folgende Formeln³⁷⁾ zweckmäßig (Abb. 184 u. 185):

$$H = \Sigma \frac{P b a}{2 h} \cdot \frac{R - G}{R N - G^2}; \quad M_0 = \Sigma \frac{P b a}{2} \cdot \frac{G - N}{R N - G^2}$$

$$Q_0 = \Sigma \frac{P b a (b - a)}{O l^2}$$

³⁶⁾ Müller-Breslau, Neuere Methoden der Festigkeitslehre und Statik der Baukonstruktionen. 3. Aufl. Leipzig 1904.

³⁷⁾ E. Björnstad, Die Berechnung von Steifrahmen. Berlin 1909.

Hierbei ist

$$N = b + \frac{2h}{3} \cdot \frac{J_q}{J_v}; \quad G = l + h \frac{J_q}{J_v}; \quad O = l + 6h \frac{J_q}{J_v} + l \cdot \frac{J_q}{J_r}$$

und

$$R = l + 2h \frac{J_q}{J_v} + l \cdot \frac{J_q}{J_r}.$$

Für eine über den Querträger gleichmäßig verteilte Belastung p der Längeneinheit erhält man mit denselben Bezeichnungen

$$M_0 = \frac{pl^3}{12} \cdot \frac{G - N}{RN - G^2}; \quad H = -\frac{pl^3}{12h} \cdot \frac{R - G}{RN - G^2}.$$

Ist in jedem Felde ein geschlossener Querrahmen vorhanden, so erhält man unter Benutzung dieser Formeln für sämtliche Querträger etwas geringere Momente infolge der direkten Belastung, als wenn man sie als frei aufliegende Träger berechnet. Häufig kann genau (Abb. 172), oder genau genug $J_r = 0$ und mitunter $J_q = \infty$ gesetzt werden. Mitunter sind Querrahmen wie Zweigelenkportale zu berechnen.

e) Seitensteifigkeit offener Brücken.

Genaua Ermittlung des Sicherheitsgrades mittels geschlossener Formeln im allgemeinen nicht möglich. Eingehende Untersuchungen s. ³⁸⁾, ³⁹⁾, ⁴⁰⁾, ⁴¹⁾ und ⁴²⁾.

Nach Engelfser ³⁸⁾ u. ⁴⁰⁾ (S. 152) hat man für das Trägheitsmoment der Vertikalen (Abb. 186)

$$J_v = \frac{n^2 \cdot P \cdot a^3 \cdot J_q \cdot h^3}{12 E^2 \cdot J_g \cdot J_q - 1,5 n^2 \cdot P^2 \cdot a \cdot h^3 \cdot b} \quad (1)$$

Hierin ist P die Spannkraft des Obergurtes, a die Feldweite und n der Sicherheitsgrad. Engelfser empfiehlt als h das Mittel der Strecken ab und ac .

Bei sehr steifen Querträgern (J_q genau genug $= \infty$) erhält man

$$J_v = \frac{n^2 P^2 a h^3}{12 E^2 J_g} \quad (2)$$

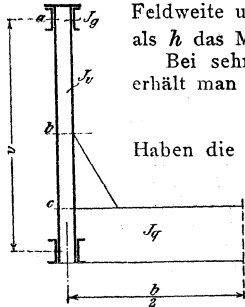
Haben die Ständer besondere Druckkräfte V auszuhalten, so ist $J_v - J_1$ statt J_v zu setzen, wo

$$J_1 = \frac{n V_v^3}{\pi^2 E}.$$

Diese Formeln sind zunächst für Parallelträger entwickelt. Aus Formel (2) erhält man für den Sicherheitsgrad n den Ausdruck

$$n = \frac{E}{Ph} \sqrt{\frac{12 J_g J_v}{ah}} \quad (3)$$

Abb. 186.



³⁸⁾ Engelfser, Z. d. B. 1884 S. 415.

³⁹⁾ Engelfser, Z. d. B. 1909 S. 172.

⁴⁰⁾ Engelfser, Zusatzkräfte und Nebenspannungen, Berlin 1892.

⁴¹⁾ Zimmermann, Die Knickfestigkeit der Druckgurte offener Brücken. Berlin 1910.

⁴²⁾ Müller-Breslau, Graph. Stat. d. Baukonstr. Bd. II, Abschn. 4.

Dieser Ausdruck ist in Preußen vorgeschrieben mit $h = \overline{ab}$ (Abb. 183), (Erlaß 8. Nov. 1892).

Aus der Formel (1) erhält man

$$n = \frac{E}{Ph} \sqrt{\frac{J_g J_v}{ah}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 1,5 \cdot (b:h) \cdot (J_v:J_g)}} \quad (4)$$

Dieser Ausdruck ist in den deutschen Vorschriften von 1908 für die Brücken mit nicht sehr steifen Querträgern der Schutzgebietsbahnen empfohlen.

Die Formeln (1) bis (4) setzen voraus, daß die Gurtung gerade und P und J_g konstant ist. Sind P und J_g nicht konstant, so sind jedesmal die Mittelwerte der zwei Gurtstäbe, welche an den betreffenden Rahmen anstoßen, einzusetzen. Bei polygonalen Gurtungen ersetzt man a durch die mittlere Gurtstablänge (nicht in den preussischen Bestimmungen vorgeschrieben).

Häufig ist folgende Rechnungsweise vorzuziehen (Engelfser)³⁹: Bedeutet P_k die Knickkraft der Gurtung in der Trägermitte und A die Rahmensteifigkeit, d. h. die Kraft, die erforderlich ist, um die Verschiebung des oberen Rahmenendes um $\delta = 1$ cm hervorzurufen (Abb. 187), so ist

$$P_k = 2 \sqrt{E J_g A : a} \quad (5)$$

wo

$$A = E : \left(\frac{h^2 b}{2 J_g} + \frac{h^3}{3 J_v} \right);$$

statt J_v ist bei Druckbeanspruchung des Ständers wie vorher $J_v = J_1$ zu setzen.

Dieser Ausdruck ist genau für Parallelträger mit starren Endrahmen, wenn J_g , A sowie die Gurtkraft konstant sind, und hinreichend genau bei veränderlicher Gurtkraft, wenn J_g und A nach außen in demselben Verhältnis wie die Gurtkraft P abnehmen. Da dies in der Regel nicht der Fall ist, bietet die Formel (5) meistens überschüssige Sicherheit.

Formeln (1) bis (5) setzen voraus, daß das seitliche Trägheitsmoment der Gurtung reichlich groß ist und mindestens der 1,8-fachen Feldlänge genügt. Ist J kleiner, erhält man zu günstige Resultate.

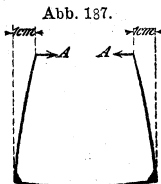
Wenn J gerade für die einfache Feldweite genügt $\left(J = \frac{Pa^2}{\pi^2 E} \right)$, so erhält man die gleiche Steifigkeit, als ob in allen Knotenpunkten Gelenke wären. Statt Formel (5) erhält man dann für das Mittelfeld

$$P_k = \frac{Aa}{4} \quad (5a)$$

Bei Trägern mit polygonalen Gurtungen kann man in Formel (5) für A einen abgeschätzten Mittelwert A_m einführen:

$$A_m = \frac{1}{\alpha_m}, \quad \text{wo } \alpha_m = \frac{1}{m} \sum \alpha \quad \text{und } \alpha = \frac{1}{A} \text{ ist.}$$

Sicher geht man, wenn man für A den Kleinstwert in der Trägermitte einführt.



Die Formeln (1) bis (4) setzen auch voraus, daß die den n -fachen Gurtkräften $n \cdot P$ entsprechenden Spannungen die Elastizitätsgrenze nicht überschreiten, und der Ausdruck (5) ist nur gültig, wenn die Knickspannung $\sigma_k = \frac{P_k}{F}$ innerhalb der Elastizitätsgrenze bleibt.

Überschreitet wie gewöhnlich σ_k die Elastizitätsgrenze, so liefern die Formeln einen höheren Sicherheitsgrad als den wirklichen, wenn nicht andere zu günstige Annahmen ausgleichend wirken, und E ist genau genommen durch den Knickmodul T zu ersetzen, wo

$$T = \sigma_k \frac{(K - \sigma_k)^2}{\pi C}$$

und nach Tetmajers Versuchen $K = 3100 \text{ kg/qcm}$ und $C = 11,4 \text{ kg/qcm.}^*)$

B. Eisenbahnbrücken.

1. Gesamtanordnungen und Allgemeines.

Bremsverbände und Schwellenträgerverbände s. S. 1048. **Querschnittsanordnungen** s. Abb. 188 bis 198 sowie Abb. 215 u. 216; letztere Brücken aus Walzeisen und Beton.

Abb. 188. Zwillingsträgeranordnung wird bei sehr geringer Konstruktionshöhe verwendet, ebenso Abb. 189. Bei $l = 3 \text{ m}$ genügt äußersten Falles 30 cm und bei $l = 8 \text{ m}$ rd. 55 cm Konstruktionshöhe. Entfernung der Träger 40 bis 50 cm, Entfernung der Schienenunterstützungen 60 bis 80 cm. Zwischen den beiden Hauptträgergruppen ist ein Windverband erforderlich.

Abb. 190, 191, 195, 196 u. 198. Ausführungen bei untenliegender Fahrbahn. Bei Spannweiten von etwa 40 m ab statt Abb. 191 ein Querschnitt mit oberem Windverband.

Fahrbahn oben: Blechträger Abb. 192, Fachwerkträger Abb. 193 u. 194. Abb. 194 ist konstruktiv einfach und ermöglicht einen oberen Windverband, bietet aber dem Winde größere Angriffsfläche. Abb. 193 hat, weil oberer Windverband nicht möglich, oft den Nachteil großer senkrechter Mehrbelastung der Hauptträger. Zur Sicherung der Standfestigkeit oft Abb. 193 statt 194 verwendet bzw. eine sonst unvorteilhafte geringe Hauptträgerhöhe.

Bei Abb. 194, 193 und geeigneten Falles Abb. 191 können die Längsträger auch oben auf den Querträgern liegen und ununterbrochen durchlaufen, wodurch die Ausnutzung der Vorteile des durchlaufenden Trägers sowie u. U. Vermeidung der Horizontalverbiegung der Querträger (S. 1050) ermöglicht wird. Bei erstklassigen Bauwerken ausgeführt, wenn auch weniger häufig.

Bei Standfestigkeitsuntersuchungen berücksichtige man den Belastungsfall mit leeren hohen Güterwagen von 1 t/m Gewicht. Ein 3 m hohes Belastungsband von 1 t/m Gewicht kippt um bei einem

^{*)} Betreffend Durchführung der Rechnung hierfür vrgl. Engelfser²⁹⁾. — Ueber T vrgl. auch v. Karman.²⁹⁾

Abb. 188.

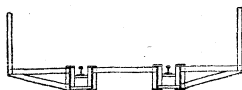


Abb. 189.



Abb. 192.

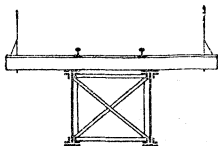


Abb. 191.

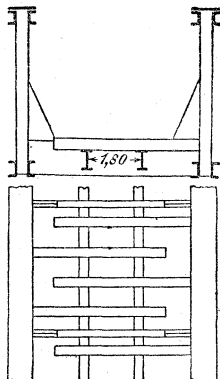


Abb. 190.

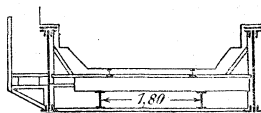


Abb. 195.

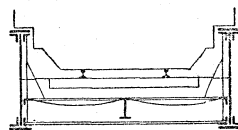


Abb. 197.

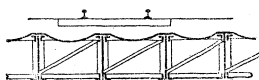


Abb. 193.

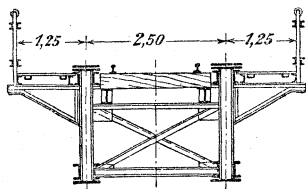


Abb. 196.

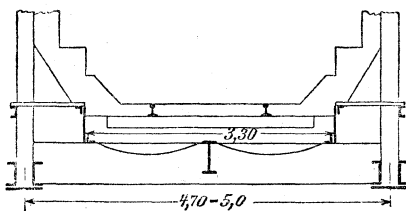


Abb. 194.

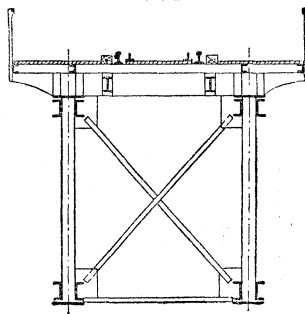
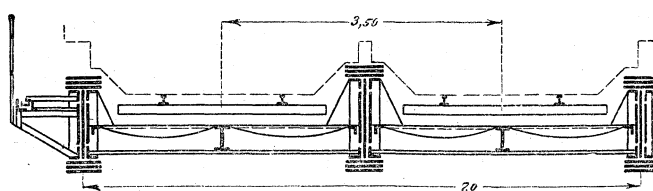


Abb. 198.



Winddrucke von 167 kg/qm. Dementsprechend ist man unter der Annahme der Belastung durch solche leeren Güterwagen und 150 kg/qm Winddruck auf 1,1fache Sicherheit gegen Umkippen des Bauwerkes herabgegangen, d. h. auf denselben Sicherheitsgrad, welchen der Wagenzug allein aufweist. Ein etwas höherer Sicherheitsgrad wird empfohlen. Bei zweigleisigen Brücken ist die alleinige Belastung des Gleises auf der Leeseite mit leichten Wagen zu berücksichtigen.

Man beachte bei diesen Untersuchungen, daß das tatsächliche Eigengewicht oft geringer ist als das der gewöhnlichen statischen Berechnung zugrunde gelegte (ausgetrocknetes Holz usw.)

Hauptträger unter der Fahrbahn in Verbindung mit durchgehendem Kiesbette besonders zu erstreben im Bahnhofsbetriebe, wo

Abb. 199.

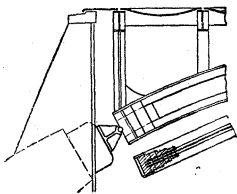


Abb. 200.

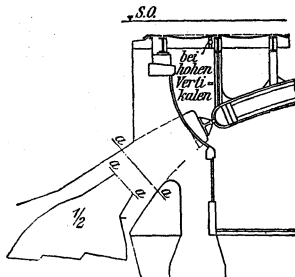
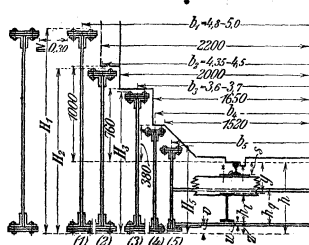


Abb. 201.



mit Gleisverlegungen zu rechnen ist. Bei Stützweiten bis 12 oder 13 m: Walzträger in Beton gebettet Abb. 219. Bei größeren Stützweiten Abb. 197 oder bei knapper Konstruktionshöhe Bogenträger, Abb. 199 u. 200.¹⁶⁾ Für diese ist bei Ueberführung eines Gleises eine Hauptträgerentfernung 2,2 bis 2,6 m zu empfehlen.

Bei einer größeren Anzahl von Gleisen, wo Gleislage und Hauptträgerlage voneinander unabhängig sind, empfiehlt sich eine solche Entfernung, daß zwei Buckelplatten zwischen je zwei Hauptträger kommen, also 3 bis 4 m.¹⁶⁾

Abb. 201 zeigt die verschiedenen **Grenzlagen der Hauptträger** im Verhältnis zum Normalprofil bei beschränkter Konstruktionshöhe und liefert die gegenseitigen Beziehungen zwischen der Hauptträgerhöhe H , der Hauptträgerentfernung b , der Konstruktionshöhe h usw. Die erforderliche Konstruktionshöhe beträgt $h = y + h_l + z$, wo $z = v + u$.

Die mögliche Längsträgerhöhe beträgt $h_l = h - y - z$. u kann $= 0$ sein; dann wird aber die Anordnung von steifen Winddiagonalen mindestens sehr erschwert. Bei genieteten Querträgern mit herunter-

gezogenem Untergurt kann auch $v=0$ gemacht werden. Aus h_l ergibt sich die obere Begrenzung der Feldweite.

Ist der Querträger ein I N.-P., so ist, wenn möglich, $u \geq \frac{1}{10} h_q$ zu machen oder besser so groß zu wählen, daß die gewünschten steifen Winddiagonalen zwischen der Windknotenplatte und der Längsträgerunterkante Platz finden.

Zwischen Querträger und Schiene 5 cm Spielraum. Schwellenhöhen s unten. Zwischen dem Hauptträger und dem Normalprofil des lichten Raumes ist bei fester Verbindung zwischen Schiene und Brücke ein Spielraum von 2 bis 3 cm, bei Brücken mit durchgeführtem Kiesbett von mindestens 5 cm sowohl in horizontaler wie vertikaler Richtung erforderlich.

Entfernung zwischen Schwellenunterkante und Oberkante der Fahrbahnplatte i. d. R. 20 cm, mindestens aber 15 cm (Abb. 195 u. 196).

Ein **zweigleisiger Ueberbau** bietet zwei getrennten eingleisigen gegenüber für den Betrieb den Vorteil, daß die normale Gleisentfernung (3,5 bzw. 4 m) auch auf der Brücke beibehalten werden kann. Bei getrennten Ueberbauten und Fahrbahnen unten ist dies nur für die allergeringsten Spannweiten möglich (Abb. 201).

Ein Ueberbau mit **3 Hauptträgern** (Abb. 198) wird verwendet, wenn die Konstruktionshöhe für zweigleisigen Ueberbau nicht ausreicht und man dennoch die normale Gleisentfernung beibehalten will. Diese Bauart kommt nur bei kleineren Stützweiten in Betracht.

Bei 3,5 bzw. 4 m Gleisentfernung sind die Trägerlagen (4) bzw. (3) möglich (Abb. 201).

Geringste Brückenbreite bei etwas größerer Spannweite etwa $l:20$. Bei Fahrbahn oben und fischbauchförmigem Untergurt auch bis $l:24$ herunter. Bei weitgespannten Brücken mit Fahrbahn unten kann eine größere Breite, als das Normalprofil verlangt, erforderlich bzw. vorteilhaft werden.

2. Brückenbahn.

a. Querschwellenoberbau.

Hölzerne Schwellen. Die Abmessungen richten sich nach der Längsträgerentfernung. Meistens ist behufs weichenfahrens die Schwellenträgerentfernung größer als die Spurweite, wodurch günstigere Beanspruchung der Querträger und, soweit Mehrbelastung durch Horizontalstöße in Frage kommen, auch der Längsträger erfolgt.

Längsträgerentfernung bei Vollspur 1,7 bis 1,9 m. Die geringste Schwellenbreite wegen der Befestigung der Unterlagsplatten 22 cm. Sie werden 1 bis 2 cm auf die Längsträger aufgekämmt. Für eine Biegebeanspruchung von 75 kg/qcm (Eichen oder gutes Kiefernholz) erhält man:

Schwellenquerschnitt	$\left\{ \begin{array}{l} h \\ b \end{array} \right.$	18	20	24	26	28	30	30	cm
		22	22	24	24	22	24	28	„
Reicht bis zu einer Längsträgerentfernung	$\left\{ \begin{array}{l} 1,68 \\ 1,72 \\ 1,84 \\ 1,90 \\ 1,93 \\ 2,04 \\ 2,13 \end{array} \right.$								m

Zulässige Schwellenentfernung von Mitte zu Mitte 60 cm. Befestigung der Schwellen auf den Schwellen- bzw. Hauptträgern, in Preußen meist

nach den Abb. 178, 202, 207 usw. Wechselnde Höhenlage der Obergurtoberkante teils durch Unterlagsplatten, teils durch verschieden tiefe Auskämmung ausgeglichen. Bemessung der Schwellenlängen bei untenliegender Fahrbahn (s. Abb. 190 u. 191), bei obenliegender Fahrbahn oft nach Abb. 203.

Entgleisungsschutzvorrichtung, bestehend aus Zwangsschienen oder Leitschienen (s. Abb. 197 u. 202). Es braucht nur jede zweite Schwelle darüber hinauszugehen.

Nach den preussischen Vorschriften muß ein Entgleisungsschutz angebracht werden auf Brücken in Kurven von weniger als 500 m Halbmesser und auf längeren Brücken mit Fahrbahn oben ohne durchgeführte Bettung.

Eiserne Querschwellen wegen Feuersicherheit in einzelnen Fällen bei sehr langen Brücken verwendet (Stöße und Geräusch-

Abb. 202.

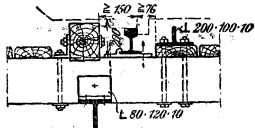


Abb. 203.

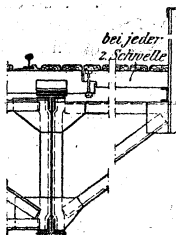


Abb. 204.

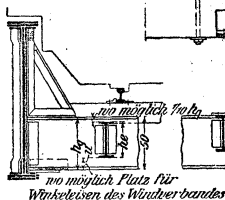


Abb. 206.



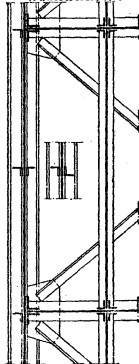
entwicklung). Querschnitt: Belageisen oder belageisen-ähnliche Formen.

Abdeckung. Auf hölzernen Schwellen 5 cm starker Bohlenbelag aus Eichenholz oder australischem Hartholz (geringe Entzündbarkeit). Breite der Bohlen 13 bis 20 cm. 3 bis 5 Bohlen werden durch Querleisten zu einer abnehmbaren Tafel von höchstens 100 kg Gewicht vereinigt. Eiserne Querschwellen durch Riffelblech (Schallentwicklung) abgedeckt. Einzelne Tafeln über den Querträgern abnehmbar.

Beispiele (Abb. 204 u. 205). Normalanordnung mit Querschwellenoberbau. Der Längsträgeranschluß Abb. 206 ist bei hinreichender Konstruktionshöhe vorzuziehen. Die Längsträger sind bis über den Quertträger hinweg durch eine Lasche verbunden.

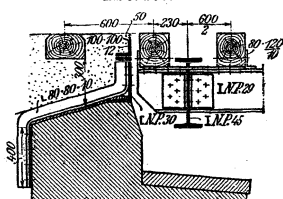
Bei genieteten Querträgern werden mitunter die Obergurte der Längsträger in zwei angrenzenden Feldern auch bei tieferer Lage des Längsträgers mittels Durchschlitzung des Querträgerstehbleches ähnlich Abb. 207 miteinander verbunden. Durch diese Konstruktionen werden Lockerungen der durch den Querträger gehenden Längsträgeranschlüsse vermieden und durch das entstehende negative Auflagermoment

Abb. 205.



der Längsträger entlastet (wird rechnerisch zur Querschnittsverminderung nicht ausgenutzt). Ist der Querträger ein Blechträger und liegt der Längsträgerobergurt tiefer als der Querträgerobergurt, so muß der eine der beiden Anschlußwinkel des Längsträgers bis zum gedrückten Obergurt des Querträgers durchlaufen, und der Längsträgerflansch auf der einen Seite weggeschritten werden. Meistens wird dieser Anschlußwinkel dann auch bis zum Querträgeruntergurt durchgeführt. Man meide in solchen Fällen breitflanschtige Träger als Längsträger oder versteife den gedrückten Teil des Querträgers in anderer Weise.

Abb. 207.



Für obenliegende Fahrbahn zeigt Abb. 203 eine Ausbildung mit Fußwegkonsolen. In Abb. 192 braucht nur jede zweite Schwelle bis zum Geländer zu reichen.

Abb. 208.

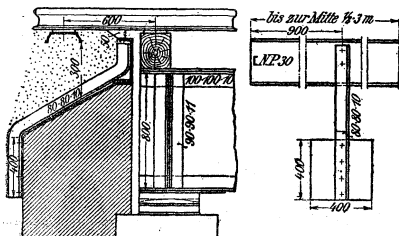
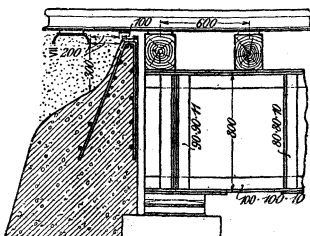


Abb. 209.



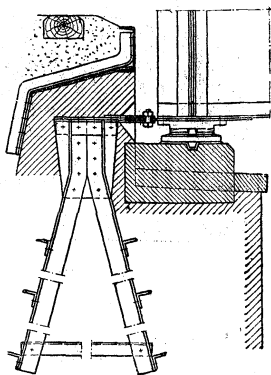
Widerlageranschluss (Abb. 207 bis 209). Das die Bettung abschließende C-Eisen wird allein durch die Verbindung mit der flusseisernen Platte 400.400 festgehalten und diese nur durch den Erddruck an den Widerlagerrücken ange-drückt, so daß jede feste Verbindung mit dem Widerlagermauerwerk ver-mieden ist.

Ausbildung der Konsole am Endquerträger nach Abb. 207 oder Abb. 206. Bei der Berechnung der Zugkraft der die Konsole an den Längsträger anschließenden Lasche (Abb. 207) setze man etwa

$$Z = \frac{P \cdot e}{\frac{2}{3}h}, \quad h = \text{Konsolenhöhe, } e = \text{Ent-}$$

fernung von Schwellenmitte bis Querträgermitte. U. U. für e einen etwas größeren Wert einsetzen, da der Raddruck außer-

Abb. 210.



der Schwellenmitte angreifen kann. Der Endquerträger wird durch eine Last P auf die Konsole belastet mit $P \frac{\lambda + e}{\lambda}$. Der Abstand des Endquerträgers vom Widerlagermauerwerk soll möglichst 30 cm nicht unterschreiten (in Abb. 212 22 cm).

Vorrichtungen zur Aufnahme der Bremskräfte.

Können die von dem festen Lager aufzunehmenden Bremskräfte im Verhältnis zur gesamten senkrechten Auflagerkraft groß werden (durchlaufende Träger, Kragträger, Brücken auf Pendelsäulen mit mehreren Öffnungen!), so sind besondere Vorrichtungen (z. B. Bremsbock, Abb. 210) für deren Aufnahme notwendig. Verbindung des Bremsbockes mit dem Hauptträger so, daß kleine Fehler in der gegenseitigen Lage bei der Montage ausgeglichen werden können.

Tabellen 11 bis 14.

Zahlenreihen nach Dirksen.¹¹⁾

Sie sind berechnet für den Preussischen Lastenzug und für $\sigma = 750 \text{ kg/cm}^2$ (Brückenbauvorschriften!). Das spez. Gew. des Holzes ist zu 1,0 gesetzt, der Schwellenquerschnitt ist zu 20/26, die Schwellenlänge zu 3,1 bzw. 4 m und die Stärke des Bohlenbelages zu 5 cm angenommen.

Die Längsträger sind berechnet, als wenn die Radlasten direkt, ohne Schwellenvermittlung, auf sie wirkten, und bei den Querträgern ist die verglichen mit der Wirklichkeit sehr ungünstige Annahme gemacht worden, daß ein Rad unmittelbar neben dem Querträger angreifen kann.

b. Fahrbahn mit durchgehendem Kiesbett.

Kommt in Städten bei kleineren Stützweiten beinahe allein in Betracht (Abb. 195 bis 198).

Vorteile gegenüber Querschwellenoberbau:

Schalldämpfung, Wasserdichtheit, Verminderung der Stöße, Feuer-sicherheit, Möglichkeit, den Oberbau mehr oder weniger unabhängig von der Brücke zu verlegen und denselben Oberbau wie auf der freien Strecke zu verwenden. Gefahr bei einer Entgleisung geringer.

Nachteile: Etwa 2,7 t/m gesamtes Mehrgewicht für 1 m Gleis und demnach mindestens 25 vH größeres Eisengewicht der Brücke, dazu noch 15 bis 25 cm größere Konstruktionshöhe.

Die Tiefe des Kiesbettes unter Schwellenunterkante 20 cm (mindestens 15 cm). Normalstärke des Kiesbettes bei Holzschnellen 36 cm, Kleinststärke bei Eisenschnellen 23 cm. Vor Schnellenende 30 cm bis zur Begrenzung der Bettung, woraus sich bei 2,7 m langen Schnellen eine Breite des Kiesbettes von 3,3 m ergibt (Abb. 196 u. 213).

Fahrbahn tafeln unter dem Kiesbett: Buckelplatten, Tonnen- und Hängebleche, ebene Blech tafeln, eine zusammenhängende, schwach nach oben gewölbte Blechtafel. Belageisen mit Betonabgleichung, Eisenbetondecken sowie in Beton eingebettete Walzträger.

In Preußen namentlich Buckelplatten.

Tafel 11.

Angriffsmomente und Widerstandsmomente der Schwellenträger.

Spannweite λ cm	Brückenbreite 3,6 m				Brückenbreite 4,9 m			
	Größtes Angriffsmoment infolge		Gesamtes Angriffs- moment M tm	Erforderliches Widerstands- moment W cm ³	Größtes Angriffsmoment infolge		Gesamtes Angriffs- moment M tm	Erforderliches Widerstands- moment W cm ³
	Eigengewicht tm	Verkehrslast tm			Eigengewicht tm	Verkehrslast tm		
100	0,0425	2,500	2,5425	339	0,0510	2,50	2,5510	340
120	0,0567	3,000	3,0567	408	0,0677	3,00	3,0677	409
140	0,0884	3,500	3,5884	478	0,1057	3,50	3,6057	481
160	0,1098	4,000	4,1098	548	0,1306	4,00	4,1306	551
180	0,1328	4,500	4,6328	618	0,1571	4,50	4,6571	621
200	0,1820	5,000	5,182	691	0,2158	5,00	5,216	695
220	0,210	5,500	5,710	761	0,249	5,50	5,749	766
240	0,246	6,000	6,246	833	0,289	6,00	6,289	839
260	0,279	6,582	6,861	915	0,328	6,582	6,910	921
280	0,353	7,505	7,858	1048	0,415	7,505	7,920	1056
300	0,402	8,438	8,840	1179	0,470	8,438	8,908	1188
320	0,456	9,379	9,835	1311	0,531	9,379	9,910	1321
340	0,541	10,327	10,868	1449	0,631	10,327	10,958	1461
360	0,611	11,400	12,011	1601	0,708	11,400	12,108	1614
380	0,688	12,825	13,513	1802	0,793	12,825	13,618	1816
400	0,793	14,250	15,043	2006	0,917	14,250	15,167	2022
450	1,022	17,813	18,835	2511	1,170	17,813	18,983	2531
500	1,555	21,375	22,930	3031	1,540	21,375	22,915	3055
550	1,652	24,938	26,590	3545	1,880	24,938	26,818	3576
600	1,997	28,500	30,497	4066	2,270	28,500	30,770	4103
650	2,335	32,280	34,615	4615	2,641	32,280	34,921	4656
700	2,788	36,730	39,518	5269	3,147	36,730	39,877	5317
800	3,760	46,750	50,510	6735	4,237	46,750	50,987	6798

Tafel 12.

Schwellenträgerquerschnitte und zulässige Stützweiten derselben.

Brückenbreite 3,6 m						Brückenbreite 4,9 m					
Normale I-Eisen			Breitflanschtige I-Eisen			Normale I-Eisen			Breitflanschtige I-Eisen		
Profil-Nr.	Widerstands-moment cm ³	genügt bis $\lambda =$ cm	Profil-Nr.	Widerstands-moment cm ³	genügt bis $\lambda =$ cm	Profil-Nr.	Widerstands-moment cm ³	genügt bis $\lambda =$ cm	Profil-Nr.	Widerstands-moment cm ³	genügt bis $\lambda =$ cm
24	353	104	22	671	194	24	353	103	22	671	193
25	396	116	24	855	245	25	396	116	24	855	244
26	441	129	25	965	267	26	441	128	25	965	266
27	491	143	26	1104	288	27	491	142	26	1104	287
28	541	158	27	1224	306	28	541	157	27	1224	305
29	594	173	28	1361	327	29	554	172	28	1361	325
30	652	189	29	1508	347	30	652	188	29	1508	346
32	781	225	30	1680	367	32	781	224	30	1680	366
34	922	261	32	1882	387	34	922	260	32	1882	386
36	1088	286	34	2073	406	36	1088	284	34	2073	404
38	1262	312	36	2360	434	38	1262	311	36	2360	433
40	1459	341	38	2605	458	40	1459	339	38	2605	456
42,5	1739	373	40	2892	486	42,5	1739	372	40	2892	484
45	2040	403	42,5	3212	517	45	2040	401	42,5	3212	515
47,5	2375	436	45	3595	553	47,5	2375	434	45	3595	550
50	2750	472	47,5	3992	592	50	2750	470	47,5	3992	586
55	3602	555	50	4451	632	55	3602	552	50	4451	627
			55	5306	700				55	5306	694
			65	6623	788				65	6623	782
			75	7544	848				75	7544	840

Tafel 13.

Auflagerdruck des Querträgers.

A_p = Auflagerdruck infolge der Verkehrslast, A_g = Auflagerdruck infolge des Eigengewichts,
 b = Brückenbreite, λ = Feldweite.

λ cm	A_p t	A_g		λ cm	A_p t	A_g		λ cm	A_p t	A_g $b = 4,9$ t
		$b = 3,6$ t	$b = 4,9$ t			$b = 3,6$ t	$b = 4,9$ t			
100	10,000	0,490		310	19,306	1,358	1,622	510	27,500	2,883
110	10,000	0,524		320	19,594	1,392	1,661	520	27,789	2,915
120	10,000	0,545		330	19,864	1,503	1,797	530	28,066	2,987
130	10,000	0,564		340	20,118	1,525	1,820	540	28,333	3,056
140	10,000	0,670		350	20,643	1,567	1,867	550	28,591	3,129
150	10,000	0,692		360	21,250	1,627	1,915	560	28,839	3,174
160	10,688	0,714		370	21,824	1,690	1,967	570	29,079	3,218
170	11,735	0,755		380	22,368	1,746	2,021	580	29,311	3,255
180	12,667	0,775		390	22,885	1,772	2,055	590	29,534	3,353
190	13,500	0,806		400	23,375	1,884	2,193	600	29,750	3,438
200	14,250	0,935	1,171	410	23,841	1,930	2,244	620	30,161	3,520
210	14,929	0,954	1,194	420	24,286	1,977	2,299	640	30,547	3,630
220	15,545	0,972	1,219	430	24,709	2,023	2,355	660	30,909	3,847
230	16,109	1,021	1,253	440	25,114	2,070	2,408	680	31,250	3,982
240	16,625	1,048	1,283	450	25,500	2,116	2,461	700	31,571	4,092
250	17,100	1,068	1,306	460	25,869	2,230	2,601	720	31,875	4,303
260	17,538	1,087	1,328	470	26,223	2,289	2,664	740	32,162	4,420
270	17,945	1,217	1,488	480	26,563	2,349	2,737	760	32,520	4,540
280	18,321	1,237	1,512	490	26,888	2,408	2,798	780	32,942	4,766
290	18,672	1,292	1,549	500	27,200	2,467	2,850	800	33,375	4,866
300	19,000	1,323	1,585							

Tafel 14.

Erforderliche Widerstandsmomente des Querträgers ($\sigma = 750$).

λ cm	Entfernung der Mittellinie des Schwellenträgers von der des Hauptträgers gleich:								λ cm	Entfernung der Mittellinie des Schwellenträgers von der des Hauptträgers gleich:			
	0,35 cm ³	0,60 cm ³	0,70 cm ³	0,75 cm ³	0,80 cm ³	0,85 cm ³	0,90 cm ³	0,95 cm ³		1,45 cm ³	1,50 cm ³	1,55 cm ³	1,60 cm ³
100	490	839	979	1049	1119	1189	1259	1329	300	3981	4118	4255	4393
110	491	842	982	1052	1122	1192	1262	1332	310	4047	4186	4325	4465
120	492	844	985	1055	1125	1196	1266	1336	320	4110	4252	4394	4536
130	493	845	986	1056	1126	1197	1267	1338	330	4188	4332	4476	4621
140	498	854	996	1067	1138	1209	1280	1352	340	4242	4388	4534	4681
150	499	855	998	1069	1140	1212	1282	1354	350	4352	4502	4652	4802
160	532	912	1064	1140	1216	1292	1368	1444	360	4480	4634	4788	4943
170	583	999	1166	1249	1332	1416	1499	1582	370	4590	4758	4916	5075
180	627	1075	1254	1344	1434	1523	1613	1702	380	4715	4878	5040	5203
190	668	1145	1336	1431	1526	1622	1717	1813	390	4822	4988	5154	5321
200	709	1215	1418	1519	1620	1721	1823	1924	400	4944	5114	5284	5455
210	741	1270	1482	1588	1694	1800	1906	2012	410	5045	5218	5392	5566
220	771	1322	1542	1652	1762	1872	1982	2093	420	5141	5318	5495	5673
230	799	1370	1599	1713	1827	1941	2056	2170	430	5232	5412	5592	5773
240	825	1414	1649	1767	1885	2003	2120	2238	440	5321	5504	5687	5871
250	848	1454	1696	1817	1938	2059	2180	2302	450	5406	5592	5778	5965
260	869	1490	1739	1863	1987	2111	2236	2360	460	5504	5694	5884	6074
270	894	1533	1788	1916	2044	2171	2299	2427	470	5585	5778	5971	6163
280	913	1565	1826	1956	2086	2217	2347	2478	480	5665	5860	6055	6251
290	932	1597	1863	1996	2129	2262	2395	2528	490	5740	5938	6136	6334
300	948	1626	1897	2032	2167	2303	2438	2574	500	5810	6010	6210	6411
310	964	1653	1928	2066	2204	2341	2479	2617	510	5873	6076	6278	6481
320	980	1679	1959	2099	2239	2379	2518	2659	520	5935	6140	6345	6549
330	997	1710	1995	2137	2270	2422	2564	2707	530	6003	6210	6417	6624
340	1010	1731	2020	2164	2308	2452	2597	2741	540	6069	6278	6487	6697
350	1037	1777	2073	2221	2369	2517	2665	2813	550	6133	6344	6555	6767
360	1068	1830	2135	2288	2441	2593	2746	2898	560	6189	6402	6615	6829
370	1097	1881	2194	2351	2508	2664	2821	2978	570	6245	6460	6675	6891
380	1125	1929	2250	2411	2572	2732	2893	3054	580	6297	6514	6731	6948
390	1151	1973	2302	2466	2630	2795	2959	3124	590	6359	6578	6797	7017
400	1179	2021	2358	2526	2694	2863	3031	3200	600	6417	6633	6859	7081
410	1203	2062	2405	2577	2749	2921	3092	3264	620	6511	6736	6961	7185
420	1226	2101	2451	2626	2801	2976	3151	3320	640	6608	6836	7064	7292
430	1247	2138	2495	2673	2851	3029	3208	3386	660	6720	6952	7184	7416
440	1268	2174	2537	2718	2899	3080	3261	3443	680	6811	7046	7281	7516
450	1289	2210	2578	2762	2946	3130	3314	3499	700	6894	7132	7370	7607
460	1311	2248	2623	2810	2997	3184	3372	3559	720	6995	7236	7477	7718
470	1331	2281	2661	2851	3041	3231	3421	3611	740	7072	7316	7560	7804
480	1349	2313	2698	2891	3084	3276	3469	3662	760	7165	7412	7659	7906
490	1367	2344	2735	2930	3125	3321	3516	3711	780	7291	7542	7793	8045
500	1385	2374	2769	2967	3165	3363	3560	3758	800	7393	7648	7903	8153

Pfeilverhältnis bei quadratischen Buckelplatten meist $\frac{1}{12}$ der Muldenseite, bei rechteckigen $\frac{1}{12}$ des arithmetischen Mittels beider Seiten. Mehrgewicht gegenüber ebenen Blechen derselben Größe $2\frac{1}{2}$ vH; man rechne der Sicherheit halber mit 3 vH.

Für die Ermittlung des Gewichtes der Bettung wird der Rauminhalt der Mulde zu $\sim \frac{1}{2} g \cdot f$ gesetzt, wenn g = Grundrissfläche, f = Pfeilhöhe. Seitenlängen der Platten von 1,4 bis 1,8 m, seltener bis 2 m.

Blechstärke für kleinere und mittlere Größen meistens 8 mm; von etwa 1,7 m Seitenlänge an 10 mm. Anschlusniete an den Rändern meistens 12 bis 16 mm. Nietteilung der Wasserdichtigkeit halber nicht über 5 d. Das kleinste I-Eisen des Normalprofils, woran Buckelplatten noch angeschlossen werden können, ist N P. 22. Werden

Abb. 211.

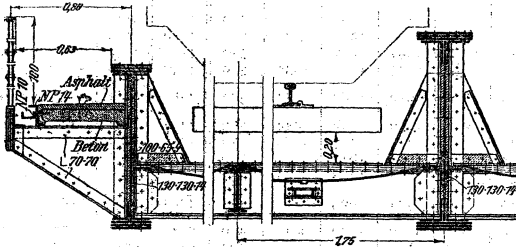
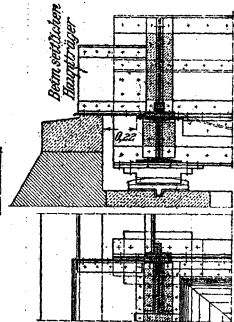


Abb. 212 a.



I-Eisen im Fahrbahnträgergerippe benutzt, so müssen die Ränder der benachbarten Buckelplatten übereinandergreifen und um Kröpfung zu vermeiden einige der Ränder der einen Platte unterfüttert werden.

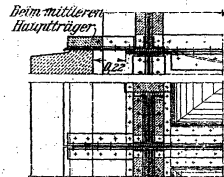
Abb. 211 u. 212. Einzelheiten zu Abb. 198 Sehr beschränkte Konstruktionshöhe. Abb. 213 Querschnitt einer Fachwerkbrücke mit Fahrbahn unten und knapper Konstruktionshöhe, Entwässerung mittels Rinnen aus I-Eisen, ferner Fußwegausbildung und trotz Buckelplatten Windverband vorhanden.

Abb. 214 bis 215. Einzelheiten der Anschlüsse an Längsträger, und Randträger.

Berechnung. In Preußen wird das Gewicht der Buckelplatten nebst Bettung in der Regel zu $\frac{1}{4}$ auf jede Seite als Dreieckslast verteilt (Abb. 216 u. 217).

Bei der Berechnung der Längsträger wird angenommen, daß eine über der Buckelplatte angreifende Radlast sich durch die Schwelle als Einzellast ausschließlic auf die beiden benachbarten Längsträger verteilt, während die Querträger bzw. Zwischenquerträger nichts davon direkt erhalten. Bei der Querträgerberechnung wird angenommen, daß ein über dem Querträger angreifendes Rad direkt als Einzellast auf den Träger übertragen wird. Abb. 217 u. 218 zeigen die sich ergebenden Belastungsfiguren für einen mittleren Längsträger und einen Zwischenquerträger. Für diesen wird oft angenommen, daß die Radlast in der Mitte angreift. Ein etwaiger Lastanteil weiterer Räder bei großen Buckelplatten braucht nicht berücksichtigt zu werden.

Abb. 212 b.



Bei einem 1,65 m langen Zwischengurtträger (oder Längsträger) und 36 cm Bettungshöhe ist das infolge einer konzentriert angreifenden Radlast (Abb. 218) entstehende Moment 33 vH größer als das welches sich ergibt, wenn man beispielsweise eine Verteilung der Last auf $10 + 2 \times 36 = 82$ cm annimmt (vgl. auch Abb. 231 u. 232).

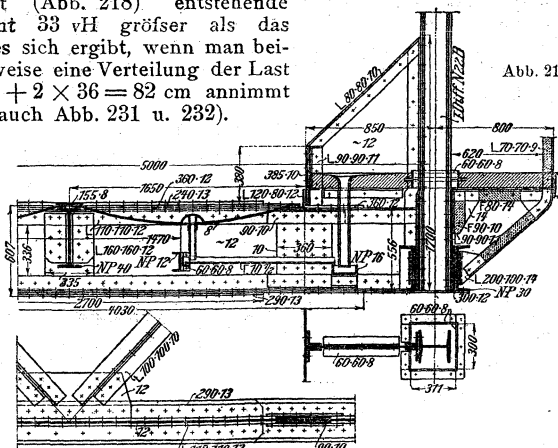


Abb. 213.



Abb. 215.

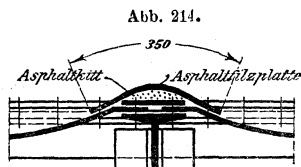


Abb. 214.

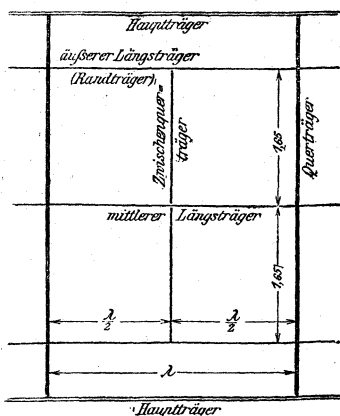
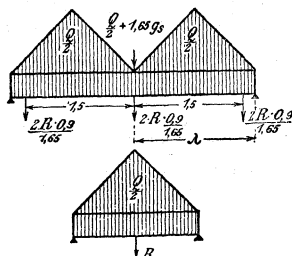


Abb. 217 u. 218.



R = Radlast.
 Q = Gewicht einer Buckelplatte mit Bettung.
 g_s = Eigengewicht des Zwischenquerträgers für 1 m.

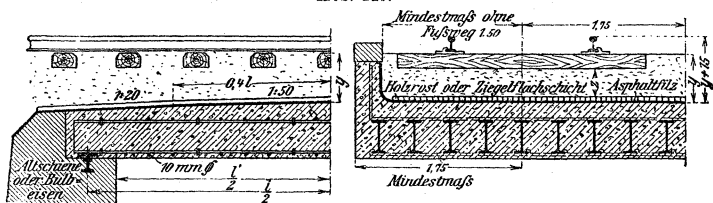
Tafel 15 [nach Dircksen¹¹⁾] gilt für kleine Brücken (Abb. 195 u. 198), Hauptträgerlage (3) u. (4) in Abb. 201. Die zugrunde gelegte Beanspruchung ist 800 kg/qcm (Preussische Vorschriften!).

Die Abdeckung der Fahrbahn mit ebenen Blechen kommt bei unregelmäßiger Grundrißform (schiefe Zwickel) in Betracht. Blechstärke 8 bis 10 mm bei 80 bis 100 cm Entfernung der Fahrtrahnen. Quergefälle $\geq 1:60$.

3. Walzträger in Betondecke,

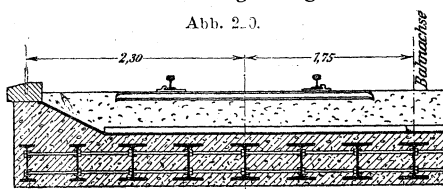
bis etwa 12 m wirtschaftlich vorteilhafter als reiner Eisenbau (Abb. 219 u. 220). Bei sehr knapper Konstruktionshöhe nicht verwendbar. Die

Abb. 219.



Träger werden so bemessen, daß sie allein das gesamte Eigengewicht sowie die Verkehrslast tragen können; Verkehrslast eines Gleises auf etwa 3,5 m Breite verteilt.

Zur Wahrung der Trägerentfernung, zur Lastverteilung und um den Beton bei einer Entgleisung widerstandsfähiger zu machen, werden



quer zu den Trägern oben und unten Runden von 10 mm Dmr. in etwa 20 cm Entfernung angeordnet und abwechselnd um die Trägerflanschen gebogen, so daß immer ein Träger mit mehreren anderen verbunden wird (vgl. Verteilungseisen im reinen Eisenbetonbau). Trägerentfernung behufs Einstampfens ≤ 15 cm im Lichten.

Die Schalung soll so tief angebracht werden, daß eine Betonschicht von 3, besser 4 cm unter den Trägerflanschen verbleibt. Um die Zugspannungen des Betons auf ein Minimum zu reduzieren, ordne man die Schalung an den Trägern hängend an, so daß der Beton erhärtet, während die Träger schon die Durchbiegung infolge des Eigengewichts der Decke erhalten haben. Der Beton wird dann nur durch Kiesbett, -leis und Verkehrslast beansprucht. U. Umst. Vorbelastung der Träger, so daß nach der Erhärtung und der Entfernung der Vorbelastung an der Unterkante der unbelasteten Decke Druckspannungen im Beton (Erhärtungszeit des Betons mindestens 4 Wochen) vorhanden sind.

Zwei Berechnungsarten sind im Gebrauch:

1. ohne Berücksichtigung der Betonzugspannungen (geringere Konstruktionshöhe und Kosten!). Betondecke nur so stark, daß Träger ordentlich eingebettet sind.

Tafel 15.

Brückenbreite	Längsträger					Querträger			
	Feld- weite λ	Angriffsmomente		Moment $M = M_g$ + M_p	Erforder- liches Wider- stands- moment	Angriffsmomente		Moment $M = M_g$ + M_p	Erforder- liches Wider- stands- moment
		M_g	M_p			M_g	M_p		
cm	tm	tm	tm	cm ³	tm	tm	tm	cm ³	
3,3 m	Bettungsstärke 36 cm					Bettungsstärke 36 cm			
	130	0,219	3,546	3,765	471	1,767	9,000	10,767	1346
	140	0,255	8,819	4,074	500	1,896	9,000	10,896	1362
	150	0,293	4,091	4,384	548	2,027	9,000	11,027	1378
	160	0,333	4,364	4,697	587	2,171	9,619	11,790	1474
	170	0,377	4,637	5,014	627	2,300	10,563	12,863	1608
	180	0,426	4,910	5,336	667	2,427	11,400	13,827	1728
	190	0,475	5,183	5,658	707	2,582	12,150	14,732	1842
	200	0,526	5,455	5,981	748	2,710	12,825	15,535	1942
	3,3 m	Bettungsstärke 23 cm					Bettungsstärke 28 cm		
130		0,161	3,546	3,707	463	1,324	9,000	10,324	1291
140		0,186	3,819	4,005	501	1,419	9,000	10,419	1302
150		0,214	4,091	4,305	538	1,516	9,000	10,516	1315
160		0,244	4,364	4,608	576	1,626	9,619	11,245	1406
170		0,276	4,637	4,913	614	1,721	10,563	12,284	1536
180		0,312	4,910	5,222	653	1,814	11,400	13,214	1652
190		0,348	5,183	5,531	691	1,934	12,150	14,084	1760
200		0,386	5,455	5,841	730	2,028	12,825	14,853	1857
3,7 m		Bettungsstärke 36 cm					Bettungsstärke 36 cm		
	130	0,253	3,865	4,118	515	2,305	11,000	13,305	1663
	140	0,293	4,162	4,455	557	2,474	11,000	13,474	1684
	150	0,338	4,459	4,797	600	2,604	11,000	13,604	1705
	160	0,384	4,756	5,140	643	2,823	11,756	14,580	1823
	170	0,436	5,053	5,489	686	3,000	12,912	15,912	1989
	180	0,489	5,351	5,840	730	3,185	13,934	17,119	2140
	190	0,545	5,648	6,193	774	3,350	14,849	18,199	2275
	200	0,608	5,945	6,553	819	3,550	15,675	19,225	2403
	3,7 m	Bettungsstärke 23 cm					Bettungsstärke 23 cm		
130		0,185	3,865	4,050	506	1,726	11,000	12,726	1591
140		0,215	4,162	4,377	577	1,851	11,000	12,851	1606
150		0,247	4,459	4,706	588	1,970	11,000	12,970	1621
160		0,281	4,756	5,037	630	2,093	11,756	13,849	1731
170		0,320	5,053	5,373	672	2,244	12,912	15,156	1895
180		0,358	5,351	5,709	714	2,364	13,934	16,298	2037
190		0,399	5,648	6,047	756	2,505	14,849	17,354	2169
200		0,447	5,945	6,392	799	2,636	15,675	18,311	2289

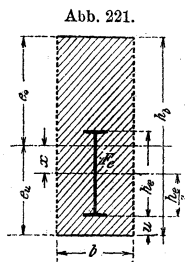
Zunahme des Angriffsmomentes bei Vergrößerung der Bettungsstärke um 1 cm

Feldweite . . . cm		130	140	150	160	170	180	190	200
Brückenbreite 3,3 m	Längsträger tm	0,0045	0,0053	0,0061	0,0068	0,0078	0,0088	0,0098	0,0108
	Querträger tm	0,034	0,037	0,039	0,042	0,045	0,047	0,050	0,052
Brückenbreite 3,7 m	Längsträger tm	0,0052	0,0060	0,0070	0,0079	0,0089	0,0101	0,0112	0,0124
	Querträger tm	0,045	0,048	0,052	0,056	0,058	0,063	0,065	0,070

Ist h normale Konstruktionshöhe, und h' kleinste Konstruktionshöhe, so ist⁴³⁾ für die Stützweite l :

$l =$	2	4	6	8	10	12 m
h	77	91	103	110	115	130 cm
h'	54	65	77	88	98	118 „

Wird das Bauwerk als Verbundkörper berechnet (Sicherung gegen Risse, dauernder Schutz des Eisens gegen Rost!) so sind im Beton bei einer Mischung von 1 Teil Zement und 4 Teile Kiessand rechnerische Zugspannungen von 20 kg/qcm zulässig. Erforderliche Stärke s der Betonschicht über den Trägern durch Ausprobieren rechnerisch ermittelt (Abb. 221).



Die Schwerlinie des Verbundkörpers im Sinne der Eisenbetonberechnung ist bestimmt durch:

$$e_u = \frac{(n-1) F_e (u + 0,5 h_e) + 0,5 b \cdot h_b^2}{b \cdot h_b + (n-1) F_e}$$

Dann ist:

$$J = (n-1) [J_e + F_e \cdot x^2] + \frac{1}{3} b (e_u^3 + e_o^3)$$

und die Betonzugspannung $\sigma_{bu} = M \cdot e_u : J$, wo M der auf einen Träger entfallende Anteil desjenigen Momentes ist, der noch im Beton Zugspannungen hervorruft (vgl. oben), $n = E_e : E_b$ in Preußen = 10.

Für Träger zulässige Spannung 800 kg/qcm. Solange die Verbundwirkung erhalten bleibt, erreicht die tatsächlich entstehende nicht 200 kg/qcm.

Die erforderliche Konstruktionshöhe h ergibt sich bei Holzschwellen für $y = 35$ cm und Lichtweiten l' bis 6 m genau genug aus $h = 62$ cm + $10 l'$ (Abb. 219) und für l' von 6 bis 12 m aus $h = 81$ cm + $6,5 l'$.

Bei Eisenschwellen ist die Konstruktionshöhe in der Regel 8 cm kleiner.

Zahlenwerte aus der Zusammenstellung der Eisenbahndirektion Berlin:

Lichtweite l'	2	4	6	8	10	12 m*)
Stützweite l	2,3	4,4	6,6	8,6	10,6	12,7 m
Trägerquerschnitt . . .	122	134	147,5	155	160 B	175 B
Anzahl Träger auf 3,5 m*)	7	7	7	7	7	8
Konstruktionshöhe h bei Holzschwellen	81	102	120	138	149	159 cm
Betonhöhe $h_b^{**})$. . .	30	51	68	86	96	106 cm
Gewicht der Träger für 1 m Länge des Bauwerks	217,1	476,4	895,7	1164,9	1652,0	2107,2 kg

Bei der Ermittlung des Gesamtgewichts aus der letzten Horizontalspalte ist die wirkliche Baulänge der Träger zu berücksichtigen

⁴³⁾ Nach W. Wolff, Z. d. B. 1907 S. 342.

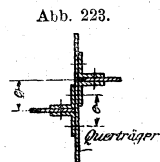
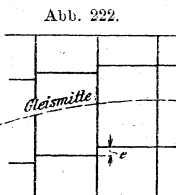
*) Bei $l' = 12$ m ist eine Verteilung auf 3,6 m angenommen, sonst auf 3,5 m.

**) In der Mitte 1 bis 3 cm größer wegen der Neigung.

Die Brücken aus Walzträgern in Beton stützen die Widerlager wirksam in horizontalem Sinne. Man darf bei der Untersuchung der Wirkung des horizontalen Erddrucks auf die Widerlagermassen diese als senkrechten Balken auffassen, der in der Höhe der Brücke und auf der Bausohle in horizontalem Sinne gestützt ist, und erhält wesentlich schwächere Widerlagermauern als bei entsprechenden reinen eisernen Brücken.

4. Brücken in Kurven.

1. Bei Querschwellenoberbau müssen bei rechtwinkligen Anschlüssen der Längs- und Querträger die Längsträger in den verschiedenen Feldern zum Teil gegeneinander versetzt sein (Abb. 222). Verschiebung mit Rücksicht auf die Vernietung mindestens so groß, wie die Entfernung e der Nietreihen (Abb. 223). Längsträger mehrerer Felder unter Umständen zu einer Stufe zusammengefaßt.



2. Brückenverbreiterung. Bei Fahrbahn unten muß die Pfeilhöhe der Kurve und die durch die Ueberhöhung der Schiene hervorgerufene Wagenneigung berücksichtigt werden. Die Verbreiterung infolge einer Schienenüberhöhung h beträgt $h \frac{3,05}{1,50}$. Ist jedoch die Hauptträgerhöhe y

über S.-O. geringer als 3,05 m, so ist die Verbreiterung $h \frac{y}{1,50}$.

Für Hauptträger eingleisiger Brücken, die mindestens 3,05 m über S.-O. hinaufreichen, erhält man als kleinste gesamte lichte Breite zwischen den Hauptträgern $b = 4,4 + h \frac{3,05}{1,50} + \frac{l^2}{8R}$, wo l die wirkliche Baulänge des Trägers bedeutet.

Die für die verschiedenen Kurvenhalbmesser und entsprechenden Ueberhöhungen sich hieraus ergebenden Größen b sind für Brückenlängen von 10 bis 60 m in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

R in m . .	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300	250	200	180	Baulänge l der Träger in m
h in mm . .	46	48	50	53	56	59	64	71	80	94	108	120	125	125	
$h \frac{3,05}{1,50}$ in mm	94	98	102	108	114	120	130	144	163	192	220	244	255	255	
Lichte Breite b in m	4,50	4,51	4,51	4,52	4,53	4,54	4,55	4,57	4,59	4,62	4,66	4,69	4,72	4,73	10
	4,53	4,54	4,55	4,56	4,57	4,58	4,60	4,63	4,66	4,72	4,79	4,84	4,91	4,93	20
	4,58	4,60	4,62	4,63	4,65	4,68	4,71	4,75	4,81	4,90	5,04	5,14	5,28	5,35	30
	4,65	4,67	4,68	4,71	4,74	4,77	4,82	4,88	4,96	5,09	5,29	5,44	5,66	5,77	40
	4,73	4,76	4,79	4,82	4,86	4,91	4,98	5,06	5,19	5,37	5,66	5,89			50
	4,84	4,87	4,91	5,01	5,08	5,17	5,29	5,46	5,72						60

Tafel 16.

Konstruktionshöhen von Eisenbahnbrücken ohne Durchführung der Bettung.

 l = Stützweite in m.

Anordnung nach:	Stützweite m	Entfernung der Hauptträger m	Kleinste Konstruktionshöhe cm	Mittlere cm	Erwünschte cm
Abb. 188.	1 bis 8	0,36 bis 0,45	$\frac{l}{7+l} (> 30)$		
Abb. 189.	≤ 10	1,90 bis 3,20	37 bis 48		
	$\leq 11,5$	3,3	50		
	$\leq 17,5$	3,7	52		
Abb. 190.	$\leq 15,5$	3,75	56	86	98
	≤ 20	4,80	58	88	100
Abb. 191.	20 bis 30	4,8	61	88	100
	30 „ 40	4,9	65	100	112
	40 „ 50	5,0	71	115	132
	> 50	5,0	76	125	148
Abb. 192.	≤ 12	1,6 bis 1,8	$\frac{l}{12} + 37$		$\frac{l}{10} + 46$
	12 bis 26	1,6 „ 1,8	$\frac{l}{12} + 39$		$\frac{l}{9} + 49$
Abb. 193.	30	2,3	$\frac{l}{12} + 24$		$\frac{l}{8} + 25$
	40	3,0	$\frac{l}{12} + 10$		$\frac{l}{8} + 10$
	50	4,0	$\frac{l}{13} + 42$		$\frac{l}{8} + 42$
Abb. 194.	30	2,3	$\frac{l}{12} + 76$		$\frac{l}{8} + 102$
	40	3,0	$\frac{l}{12} + 81$		$\frac{l}{8} + 116$
	50	4,0	$\frac{l}{13} + 89$		$\frac{l}{8} + 147$
	60	4,2	$\frac{l}{13} + 100$		$\frac{l}{8} + 165$

Tafel 17 [z. T. nach Dircksen⁴¹⁾].

Bei den kleinsten Konstruktionshöhen sind eiserne Schwellen mit 15 cm Bettung darunter sowie Fahrbahngerippe aus breitflanschigen Trägern vorausgesetzt.

Tafel 17.

Konstruktionshöhen von Eisenbahnbrücken mit Durchführung der Bettung.

l = Stützweite in m.

Anordnung nach:	Stützweite m	Entfernung der Hauptträger m	Konstruktionshöhe		
			Kleinste cm	Mittlere cm	Erwünschte cm
Abb. 195.	≤ 13	3,4	72,5		100
	≤ 16	3,45	75		105
	20	4,8	80		120
Abb. 196.	30	4,8	80	116	126
	40	5,0	88	132	142
Abb. 197.	≤ 26		$\frac{l}{14} + 46$		$\frac{l}{9} + 58$
Abb. 199. Blecbogen mit durchgehender, über den Hauptträgern liegender Fahrbahn.			Im Scheitel $\frac{l}{40} + 48^*)$ In $\frac{1}{3}$ der Stützweite $\frac{l}{19} + 48$	Im Scheitel $\frac{l}{40} + 77$ In $\frac{1}{3}$ der Stützweite $\frac{l}{17} + 77$	
Abb. 219.	Lichtweite! 1 bis 5 m 6 „ 12 „				62 + 10 l' 81 + 6,5 l'

Anm.: Bei Holzschwellen und bei Beschränkung der Betonzugspannungen auf 20 kg/qcm.

*) Wenn möglich, wird empfohlen, nicht unter $0,08 l + 56$ cm herunterzugehen (Brabandt⁴⁶⁾).

6. Stützen zwischen Gleisen.⁴⁵⁾

Der Sockel ist zur Sicherung der Stütze so zu bemessen, daß der Wagen bei einer etwaigen Entgleisung noch mit hinreichend widerstandsfähigen Teilen gegen das Mauerwerk anprallt, bevor der Wagenkasten die Stützen trifft.

⁴⁵⁾ Nach Mitteilungen aus dem Brückenbauamt der Eisenbahndirektion Berlin.

Ist die Gleisentfernung 2,2 m, so muß, wie in Abb. 225a (die nur das Normalprofil berücksichtigt), der Sockelteil mno ausgespart werden. Der Spielraum zwischen Mauerfläche mn und Normalprofil ist aber auf das äußerste zu beschränken, d. h. a muß nur wenig kleiner als

Abb. 225.

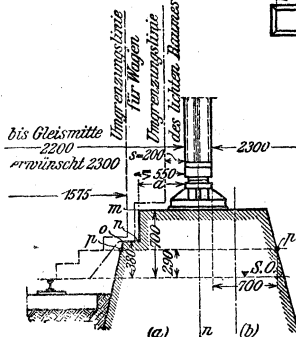
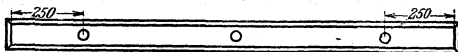


Abb. 226.



550 mm sein. Besser $a = 550$ mm und Gleisentfernung > 2200 mm.

p ist der Punkt, wo die Wagenachse des entgleisten Wagens das Mauerwerk trifft. Wird nach Abb. 225b das Maß 700 mm innegehalten (zu empfehlen!), so ergibt sich beim Anprall im ungünstigsten Falle ein Zwischenraum von 203 mm zwischen Stütze und Wagenkasten. Gleismittenentfernung 2,3 m.

Abb. 206. Um einen Anprall an die Stütze zu verhindern, ist das Maß 250 cm innezuhalten.

C. Straßenbrücken.

1. Fahrbahnbreite und -Gefälle.

Fahrbahn für 2 Wagenreihen (5 m) nur für geringen Verkehr. 3 Wagenreihen (von 7,2 m) ist die normale Mindestentfernung in Städten, eine für 4 Reihen bemessene Fahrbahnbreite (9,5 bis 11 m) genügt für sehr starken Verkehr. Sind auf einer Brücke mit Fahrdamm für 3 Wagenreihen zwei Straßenbahngleise, so sind sie unter Freilassung der Fahrbahnmitte an den Bordschwellen zu führen.

Fußwegbreite bei Fußwegen auf Konsolen außerhalb der Hauptträger mindestens 1,25 m, innerhalb der Hauptträger oft bis gegen $\frac{1}{2}$ m herunter. In Großstädten bis 3 m, selten breiter.

Bei längeren Brücken ist der Entwässerung wegen ein Längsgefälle von 1:200 bis 1:400 erwünscht. Betr. Gefälle vgl. a. S. 650, Zuglasten und S. 690. Die Abrundung des Gefälles in der Brückenmitte kann im Notfall auf eine Strecke von etwa 4 m beschränkt werden. Quergefälle, nach der Straßendecke bemessen, meistens $\sim 1:50$. Die Quertträgeroberkante wird oft zweckmäßig parallel dem Querprofil des Fahrdammes gestaltet und die Längsträger \perp dazu gestellt (Abb. 230).

Höhe der Bordschwelle über Fahrdamm 10 bis 15 cm, Querneigung der Fußwege $\sim 1:50$.

2. Bohlenbelag.

Leichteste und billigste Abdeckung, billig auch, weil Quer- und Hauptträger dadurch wenig belastet werden. Einfacher Bohlenbelag nur für ganz untergeordneten Verkehr. Bei doppeltem Bohlenbelag liegt der obere Belag dicht und ist 5 bis 6, ausnahmsweise bis 8 cm stark.

Untere Bohlen mit 1 bis 2 cm Zwischenraum gelegt und 10 cm stark, wenn die Festigkeitsberechnung nicht eine größere Stärke ergibt. Obere und untere Bohlen gegeneinander versetzt.

Bei der Berechnung wird meist angenommen, daß eine Radlast sich auf zwei untere Bohlen verteilt. Ist c die Längsträgerentfernung, b und d Breite und Stärke der Bohlen und P die Radlast, so erhält man unter der Voraussetzung einer Radlast in der Mitte

für einfachen Bohlenbelag

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{3 P c}{2 b \sigma}}; \quad c_{\max} = \frac{2 \sigma b d^2}{3 P},$$

für doppelten Bohlenbelag

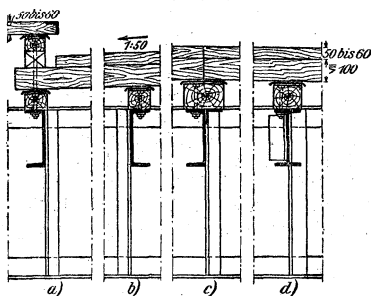
$$d_{\min} = \sqrt{\frac{3 P c}{4 b \sigma}}; \quad c_{\max} = \frac{4 \sigma b d^2}{3 P}.$$

Bei einfachem Belag ist zu d_{\min} ein Zuschlag von 2 cm erforderlich, bei doppeltem nicht.

Bei $b = 24$ cm, $\sigma = 75$ kg/cm² erhält man hiernach die den verschiedenen Bohlenstärken entsprechenden maximalen Längsträgerentfernungen wie folgt:

Radlast t	Bohlenstärken in cm							
	10	11	12	13	14	15	16	
1,5	0,80	0,97	1,15	1,35	1,57	—	—	Ein- facher Bohlenbelag
3	—	—	—	0,68	0,78	0,90	1,02	
5	—	—	—	—	—	—	0,61	
1,5	1,60	—	—	—	—	—	—	Dop- pelter Bohlenbelag
3	0,80	0,97	1,15	1,35	1,57	—	—	
5	—	—	0,69	0,81	0,98	1,08	1,22	

Abb. 227.



Bei größerer Bohlenbreite nehmen diese Werte c proportional der Bohlenbreite zu.

Zur Herstellung einer Querneigung und leichteren Erneuerung werden die Bohlen zweckmäßig in der Mitte gestossen (Abb. 227 c). Die Bohlen werden entweder direkt auf den Längsträgern mittels Hakennägeln befestigt oder an kleinere, auf den Längsträgern verschraubte Hölzer genagelt (Abb. 227).

Als Längsträger bieten bei Bohlenbelag **E**-Eisen (Abb. 227) wegen des konstruktiv bequemen Anschlusses und wegen des breiteren Flansches der kleineren Profilnummern Vorteil, sind jedoch wegen ihrer unsymmetrischen Querschnitte bei Biegung nicht den **I**-Eisen

gleichwertig, so daß, streng genommen, entsprechend größere Querschnitte zu wählen sind (s. S. 988).

3. Schwere Fahrbahn.

a. Tragende Fahrbahn Tafel.

Belageisen (Abb. 230 a und 231), Buckelplatten, Hängebleche (Tonnenbleche), ebene Bleche, teils allein, häufiger in Verbindung mit einer auf-

Abb. 228.



gebrachten Betonschicht, die die obersten Eisenteile mindestens 6 bis 8 cm bedeckt und am besten unter entsprechender Querneigung (bzw. mit Entwässerungsmulden) mit einer wasserdichten Isolierschicht (Asphaltfilz usw.) versehen ist (Abb. 228 u. 229 a u. b).

Statt Kiesbeton mit Isolierschicht auch der wasserdichte Asphaltbeton ohne Isolierschicht (teuer).

Buckelplatten. Abb. 228 u. 229 a u. b. Siehe auch Eisenbahnbrücken. Stärke 6 bis 8 mm.

Bei der Berechnung des Eigengewichts kann bei einer rohen Veranschlagung der Inhalt der Mulden im Mittel gleich einer $4\frac{3}{4}$ cm starken, gleichmäßig verteilten Schicht angenommen werden, also 95 bis 110 kg/qm bei einem spezifischen Gewicht von 2 bis 2,3.

Belageisen s. I. Bd. S. 655 u. 662.

Für den Fahrdamm in der Regel N.P. 11 oder auch mitunter Burbacher Spezialprofil ($b = 240$, $h = 120$, $W = 90$ cm und für das Vernieten breitere Flansche als N.P. 11).

Befestigung an Längsträger durch Vernieten, wobei jeder Belageisenflansch nur mit einem Niet ($\varnothing 12$ zur Not 14 mm) mit dem Träger verbunden wird oder durch Verschrauben mittels verschiedener Klemmplattenkonstruktionen. Die Schraube soll nicht durch den Trägerflansch gehen. Bei genieteten Trägern mit Gurtplatten muß die Nietteilung der Lage der Belageisen angepaßt sein. Die Entfernung der Belageisen beträgt bei schweren Lasten meist 3 cm. Ist die Längsträgerentfernung klein oder sind die Lasten kleiner, so können die Belageisen entsprechend auseinandergelegt werden, wobei

Abb. 229 a.

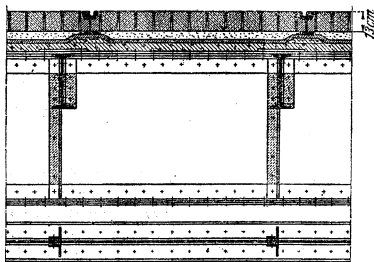


Abb. 229 b.



die Zwischenräume außer durch Beton z. B. durch flachliegende Ziegel überbrückt werden. Abschlufs gegen Querträger vgl. Abb. 241.

Behufs Gewichtersparnis wird mitunter der Zwischenraum zwischen den Belageisen bis zur Oberkante derselben mit leichterem Material ausgefüllt, z. B.

Bimsbeton (spezifisches Gewicht 1,1). Belageisen Nr. 11 in 3 cm Entfernung wiegen 70 kg/qm.

Abb. 230a u. 230b²⁷⁾ zeigt einen Brücken-

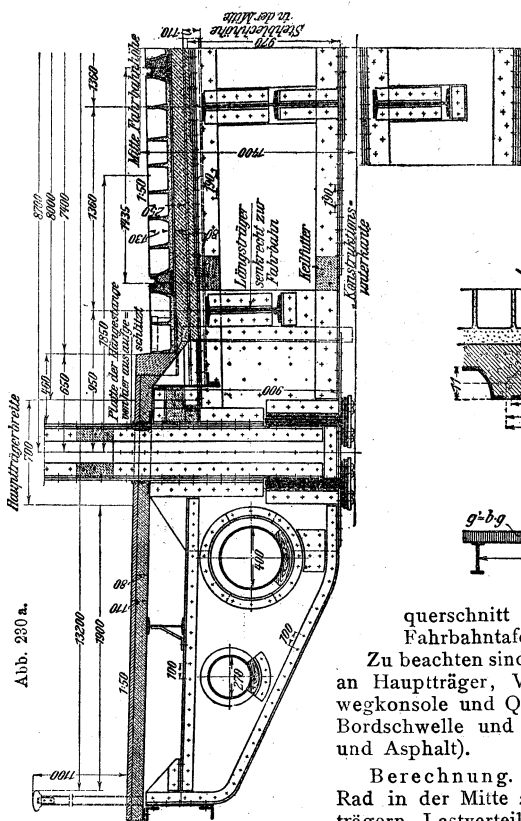


Abb. 230b.

Abb. 231.

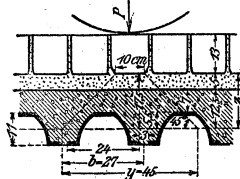
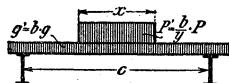


Abb. 232.



querschnitt mit Belageisen als Fahrbahntafel.

Zu beachten sind: Querträgeranschluss an Hauptträger, Verbindung von Fußwegkonsole und Querträger, Randträger, Bordschwelle und Fußwegdecke (Beton und Asphalt).

Berechnung. Belastungseinschweres Rad in der Mitte zwischen zwei Längsträgern. Lastverteilung durch die Straßendecke etwa nach Abb. 231 u. 232, wobei

meistens $x = y = 2z + 10$ cm angenommen wird. Bei Schotter reicht das Maß z bis zur Straßenoberkante.

Auf ein Belageisen kommt ein Anteil der Radlast $P' = P \cdot \frac{b}{y}$.

Bei engliegenden Belageisen, mitunter auch $P' = \frac{P}{2}$ gesetzt, und

bei einer kräftigen Betonschicht mit Schotter darüber darf man bei engliegenden, unten durch ein Winkelleisen verbundenen, Belageisen bis $P' = \frac{P}{3}$ herabgehen.

Meistens werden die Belageisen als freiliegende Träger berechnet, also

$$M = \frac{g'c^2}{8} + \frac{P'}{2} \left(\frac{c}{2} - \frac{x}{4} \right).$$

Bei 3 cm Zwischenraum zwischen den Belageisen und nach Abb. 231 wird $P' = 0,6 P$. Nimmt man etwa einschließlich Schneelast $g = 900 \text{ kg/qm}$, so erhält man für N.-P. 11 die zulässigen Längsträgerentfernungen in cm wie folgt:

Raddruck P in t	Spannung σ	
	700 kg/qcm	800 kg/qcm
3	129	144
5	91	100

Bei der z. T. auch gebräuchlichen Berechnung als durchlaufender Träger (Endfeld) ist $M = \left(0,22 - 0,142 \frac{x}{c} \right) P'c + 0,078 g'c^{2.46}$ oder bei nur teilweiser Berücksichtigung der Kontinuität etwa

$$M = \left(0,23 - 0,134 \frac{x}{c} \right) P'c + 0,1 g'c^2.$$

Belageisen haben gegen Buckelplatten den Nachteil, daß ein Windverband immer erforderlich ist.

Tonnenbleche sind weniger wirksam als Horizontalversteifung, als die Buckelplatten und haben diesen gegenüber den Nachteil größeren Rauminhalts, weshalb das Gewicht der Fahrbahn gröfser wird.

Vorteil: Geringere Trägerzahl des Fahrbahngerippes. Pfeilhöhe $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ der Spannweite.

Tonnenbleche werden gegen die Enden am besten durch zwei halbe Buckelbleche abgeschlossen.

Ebene Bleche. Vgl. Eisenbahnbrücken (S. 1066).

Fahrbahntafeln aus **Eisenbeton** sind schwerer als die vorhergenannten. Bei Brücken über Eisenbahnen (Bahnhöfen) bieten sie den Vorteil, nicht von Rauchgasen angegriffen zu werden. Sie bestehen aus flachen Decken oder Gewölben, zwischen Längs- oder Quertägern. Bis 6 m weite Gewölbe zwischen Quertägern ausgeführt ($\frac{1}{10}$ Pfeil, 17 cm Stärke).

b. Strafsendecken.

Chaussierung. Querneigung 1:40 bis 1:30. Ohne eine Betonschicht beträgt die Schotterstärke am Rande 20, in der Mitte 25 cm.

⁴⁶⁾ H. d. I. W. Bd. II, III S. 210 (1907).

Gewicht ungefähr 600 kg/qm. Bei Anwendung einer Betonunterlage und einer etwas schwächeren Schotterschicht 700 bis 750 kg/qm.

Steinpflaster. Vorteile: Lange Dauer und einfache Unterhaltung.

1. Gewöhnliches Pflaster. Auf Brücken meistens 13 cm stark. Die Steine werden in einer 2 bis 3 cm starken Sandschicht auf einer mit wasserdichter Isolierschicht wie Asphaltfilz, Tektolit oder ähnlichem abgedeckten Betonunterlage gesetzt. Diese soll die Eisenteile der Fahrbahntafel mindestens 7 bis 8 cm überragen. Mitunter auf der Isolierung zum Schutze noch eine 2 bis 3 cm Betonschicht oder eine Lage von dünnen Eisenbetonplatten. Die Fugen des Pflasters werden zur Erzielung der Dichtigkeit am besten mit Asphalt oder Zement ausgegossen (Abb. 228 bis 230).

2. Kleinpflaster von 8 bis 10 cm Stärke ist sehr empfehlenswert. Am besten in trockenem Zementmörtel 1:3 auf Betonunterlage verlegt. Nachher eingenäst, die Fugen vollgeschlämmt.

Das geringste Gewicht der Fahrbahntafel und -Decke beträgt bei 10 cm-Pflaster 550 bis 600 kg/qm.

Bei 15 cm-Pflaster kann das Gewicht ohne eine 2 bis 3 cm Betonschutzschicht 850 bis 900 kg/qm erreichen.

Nach einigen Vorschriften sind bei Steinpflaster die Erschütterungen durch einen Zuschlag von 10 bis 20 vH zu den Radlasten zu berücksichtigen.

Holzpflaster meistens 13 cm stark. Vorteil: geringes Gewicht, geringe Stöße. Nachteil: Veränderlichkeit des Volumens, die Notwendigkeit einer fachmännischen Unterhaltung. Ueber Verlegen vgl. S. 678. Unter den Klötzen eine mit Zementmörtel 1:2 abgeglichen 5 cm starke Betonschicht 1:4, dann Isolierschicht, darunter eine die Fahrbahntafel noch 5 cm überragende Betonschicht 1:6 bis 1:8 empfohlen.³³⁾ Besondere Isolierschicht entbehrlich, wenn unter der oberen Betonschicht eine die Eisenteile noch mit 4 cm überdeckende Asphaltbetonschicht sich befindet (teuer!). Oft ruhen die Klötze auch auf einer einheitlichen, mindestens 7 bis 8 cm über den Eisenteilen starken, mit Zement abgeglichenen Betonschicht. Bei der leichtesten Ausführung (leichtere Füllung zwischen den Belageisen, 10 cm Holzpflaster) wiegt Fahrbahntafel nebst Decke reichlich 400 kg/qm, bei schwererer Ausführung etwa 550 kg/qm.

Stampfasphalt. Stärkste Längsneigung 1:70. Stärke der Asphalt-schicht 5 cm, spez. Gew. 1,5.

Die als Unterstüttzung dienende Betonschicht soll hier mindestens 9 cm stark sein. Isolierschicht nicht erforderlich. Gewicht einschl. Fahrbahntafel 400 bis 550 kg/qm.

Ueber Fahrbahntafel, -decke und Gewichte s. auch ⁴⁷⁾

4. Fahrbahngerippe.

Die **Trägerhöhen** fallen bei den Längsträgern verhältnismäßig gering aus. Größere Durchbiegungen als bei Eisenbahnbrücken sind zulässig. Das günstigste Verhältnis von Querträgerhöhe zu Brückenbreite wächst mit der Belastung, also auch mit der Feldweite. Bei

⁴⁷⁾ Bernhard, Eisernen Brücken, Berlin 1911, Verlag Deutsche Bauzeitung.

Brücken mit Fahrbahn oben wird der vollwandige Querträger mitunter mit Vorteil ersetzt durch eine Fachwerkkonstruktion, die mit der Querverkreuzung der Hauptträger zusammen eine einheitliche Konstruktion bildet. Bei vielen Straßenbrücken ist mit großen kreisrunden Ausparungen im Stehblech für Leitungsrohre zu rechnen.

Aus den Tafeln S. 1085 ist ersichtlich, daß das geringste Gewicht des Fahrbahngerippes bei einer verhältnismäßig kleinen Feldweite erreicht wird.

Tafeln für Längs- und Querträger (vgl. S. 1081 bis 1085).

Die Tafeln sind berechnet

1. für eine Belastung durch zwei ohne Zwischenraum fahrende 12 t-Wagen,
2. für einen 12 t-Wagen und einen 20 t-Wagen nebeneinander fahrend,
3. für eine 23 t-Dampfwalze.

Die Abmessungen der Wagen und der Dampfwalze wie S. 67, Abb. 1 bis 3.

Der nicht von Wagen bzw. Walze eingenommene Raum ist mit Menschengedränge von 400 kg/qm besetzt gedacht (vgl. Abb. 234 bis 240).

Bei der Berechnung der Tafeln für gepflasterte Fahrbahn ist zu den Wagenlasten 10 vH für Stöße zugeschlagen, jedoch nicht zu den Dampfwalzenlasten. Bei der Fahr-

Abb. 233.

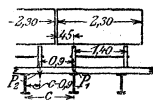


Abb. 235.



Abb. 237.

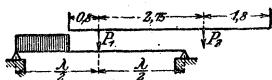


Abb. 234.

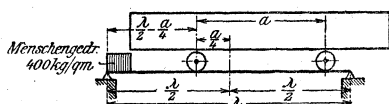


Abb. 236.

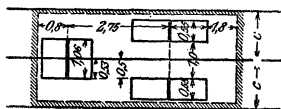
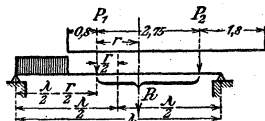


Abb. 238.



bahn mit Bohlenbelag ist mit einer Schneelast von 75 kg/qm gerechnet worden und das spezifische Gewicht des Holzes zu 1 angenommen.

Das Gewicht der Fahrbahnplatte nebst Fahrbahndecke, einschliesslich einer etwaigen Schneebelastung, ist bei der gepflasterten Fahrbahn zu 900 kg/qm angenommen (sehr schwere Fahrbahn).

Das Eigengewicht der eisernen Träger selbst ist berücksichtigt. Als Spannung ist bei der Wagenbelastung 800 kg/qcm, bei der Dampfwalzenbelastung 1100 kg/qcm zugrunde gelegt.

Bei der Wagenbelastung beträgt die den Längsträger angreifende Last (bzw. Lasten)

$$P = P_1 + \frac{c - 0,9}{c} \cdot P_2 \quad (\text{Abb. 233}). \quad \text{Nur für } c = 1,80 \text{ ist: } P = 1,222 P_1 + 0,5 P_2.$$

Als Laststellung ist die in jedem Falle ungünstigste der Abb. 234 u. 235 zugrunde gelegt.

Bis auf Abb. 235 für $\lambda = 4$ m liefern diese Laststellungen (wegen Eigengewicht und Menschengedränge) die größten Gesamtmomente $M_p + M_q$ nicht mathematisch genau. Der Fehler ist jedoch belanglos, und die Rechnung wird vereinfacht.

Die Tabellen für die Dampfwalze sind berechnet für Lasten P_1 und P_2 , die der Abb. 236 entsprechend ermittelt sind. Als Laststellungen sind Abb. 237 u. 238 zugrunde gelegt. In Abb. 238 ist R die Resultante von P_1 und P_2 . Diese Laststellungen liefern mit Rücksicht auf Eigengewicht und Menschengedrange M_{\max} mit unbedeutenden Fehlern.

Bei dem Fahrbahngerippe unter schwerer Fahrbahn kann man etwas günstiger rechnen, als hier geschehen, wenn man die Verteilung der Radlast durch Beton, Schotter usw. auf eine gewisse Trägerlänge, entsprechend Abb. 232, für Belageisen annimmt. Der hierdurch erzielbare Gewinn wird am größten bei den kurzen Fahrbahntägern (vgl. auch das unter Eisenbahnbrücken über Buckelplatten Gesagte).

Gewichte des Fahrbahngerippes (Tafel 26 u. 27). Die Längsträgergewichte enthalten nicht die Anschlüsse an die Querträger.

Auch ist kein Abzug für die Unterbrechungen durch die Querträger sowie für etwaige Flanschauklunkungen berücksichtigt worden.

Als Stehblechhöhe des Querträgers ist $\frac{1}{10}$ ihrer Länge angenommen. Bei den großen Feldweiten, zumal bei der schwersten Belastung, liefert eine größere Höhe kleinere Gewichte (vgl. S. 988).

Bei den Querträgergewichten sind für die Längsträgeranschlüsse sowie für die Anschlüsse an die Hauptträger $50 h_s$ kg/m gerechnet worden, wo h_s die Stehblechhöhe ist. Es ist durchweg angenommen, daß die erste Gurtplatte bis zum Trägerende geht. Für Nietköpfe ist ein Zuschlag von $2\frac{1}{2}$ vH gemacht worden. Als Trägerlänge ist die Hauptträgerentfernung angenommen. Da die tatsächliche Baulänge oft kürzer ist (zweiwandige Querschnitte), so werden die Gewichte mitunter etwas kleiner. Jeder Gewichtsangabe ist ein genau berechneter zweckmäßig erscheinender Blechträgerquerschnitt zugrunde gelegt worden.

Durch Addition der Längsträger- und Querträgergewichte erkennt man, daß das geringste Gesamtgewicht sich bei kleinen Feldweiten ergibt.

Tafeln für Längsträger siehe S. 1081 bis 1083, für Querträger S. 1084 u. 1085.

5. Widerlageranschlufs der Fahrbahn.

Abb. 241 bis 246 s. 48).

Abb. 241 zeigt ein Beispiel des Anschlusses am festen Auflager der Brücke. Statt dieser Anordnung ist auch ein Schleppblech ver-

Abb. 241.

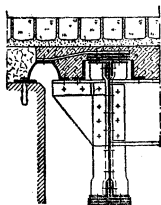


Abb. 242.

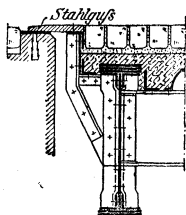


Abb. 243.

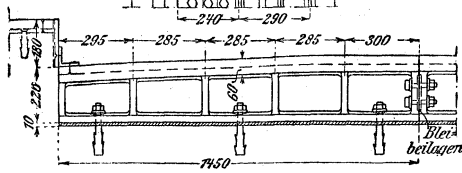
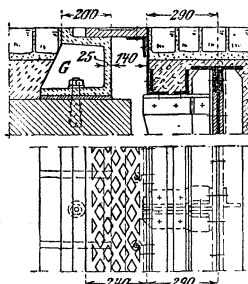


Abb. 244.

48) Nach Ausführungen der Brückenbauanstalt Gustavsborg.

Tafeln für Längsträger (vgl. Bemerkungen S. 1079 u. 1080).

Tafel 18.

Längsträger. Radlast 3 t.

d = Gesamtstärke der Bohlen. c = Längsträgerentfernung.

Fahrbahn doppelter Bohlenbelag.

d	16 cm			17 cm			18 cm			18 cm			19 cm			19 cm			20 cm		
$c =$	0,80 m			0,90 m			1,00 m			1,10 m			1,20 m			1,30 m			1,40 m		
Feld- weite λ_m	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.
2,5	2,07	259	22	2,11	264	22	2,30	287	23	2,47	308	23	2,62	328	24	2,77	346	24	2,89	361	25
3,0	2,53	318	24	2,59	324	24	2,81	351	24	3,02	378	25	3,22	403	26	3,39	424	26	3,54	442	26
3,5	3,04	380	25	3,11	388	25	3,34	417	26	3,62	452	27	3,84	480	27	4,06	508	28	4,23	528	28
4,0	3,54	443	26	3,62	453	27	3,91	489	27	4,20	526	28	4,49	561	29	4,75	594	29	4,95	619	30
4,5	4,06	508	28	4,18	522	28	4,49	561	29	4,84	605	30	5,17	646	30	5,47	687	32	5,72	715	32
5,0	4,61	576	29	4,75	594	29	5,10	637	30	5,52	689	32	5,87	734	32	6,23	779	32	6,52	815	34
5,5	5,16	645	30	5,35	669	32	5,73	717	32	6,20	778	32	6,62	828	34	7,04	881	34	7,36	920	34
6,0	5,79	724	32	6,01	751	32	6,41	802	34	6,90	863	34	7,40	925	36	7,85	981	36	8,21	1026	36
6,5	6,40	800	32	6,69	861	34	7,37	921	34	7,82	978	36	8,46	1057	36	9,00	1125	38	9,41	1176	38
7,0	7,59	949	34	7,90	987	36	8,49	1061	36	9,14	1143	38	9,68	1210	38	10,35	1293	40	10,78	1348	40
7,5	8,58	1073	36	8,96	1120	38	9,54	1192	38	10,33	1291	40	11,27	1409	40	11,66	1458	40	12,32	1540	42 1/2

Tafel 19.

Längsträger. Radlast 3 t + 10 vH Stofszuschlag.

c = Längsträgerentfernung.

Schwere Fahrbahn.

$c =$	0,80 m			0,90 m			1,00 m			1,10 m			1,20 m			1,30 m			1,40 m			Buckelplatten 1,80 m		
Feld- weite λ_m	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.	M_{\max} λ_m	Erf. W	Es ge- nügt I N.-P.
3,0	3,38	422	26	3,49	436	26	3,79	474	27	4,10	512	28	4,36	546	29	4,61	577	29	4,85	607	30	6,16	771	32
3,5	4,14	518	28	4,29	537	28	4,63	579	29	5,04	630	30	5,35	669	32	5,67	709	32	5,94	743	32	7,58	948	36
4,0	4,93	616	30	5,12	640	30	5,55	694	32	6,01	751	32	6,42	803	34	6,80	850	34	7,14	892	34	9,08	1125	38
4,5	5,77	722	32	6,06	757	32	6,49	812	34	7,07	884	34	7,59	948	36	8,03	1004	36	8,42	1053	36	10,73	1341	40
5,0	6,72	840	34	7,05	881	34	7,62	953	36	8,25	1033	36	8,85	1104	38	9,33	1167	38	9,82	1228	38	12,38	1567	42 1/2
5,5	7,73	966	36	8,12	1015	36	8,79	1099	38	9,49	1187	38	10,19	1274	40	10,79	1349	40	11,44	1430	40	14,47	1809	45
6,0	8,81	1101	38	9,26	1158	38	10,02	1253	38	10,84	1356	40	11,63	1454	40	12,36	1545	42 1/2	13,00	1625	42 1/2	16,48	2060	47 1/2
6,5	9,88	1236	38	10,38	1297	40	11,19	1399	40	12,12	1524	42 1/2	12,98	1622	42 1/2	13,84	1730	42 1/2	14,52	1815	45	18,47	2309	47 1/2
7,0	11,42	1425	40	12,06	1507	42 1/2	12,95	1619	42 1/2	14,06	1758	42 1/2	15,07	1884	45	15,99	1999	45	16,86	2108	47 1/2	21,39	2674	50
7,5	13,32	1666	42 1/2	13,81	1726	42 1/2	14,83	1853	45	16,05	2006	45	17,53	2193	47 1/2	18,29	2186	47 1/2	19,16	2295	50	24,60	3075	55

Tafel 20.

Längsträger. Radlast 5 t.

Fahrbahn doppelter Bohlenbelag.

d	19 cm			20 cm			21 cm			21 cm			22 cm			22 cm		
$c =$	0,80 m			0,90 m			1,00 m			1,10 m			1,20 m			1,30 m		
Feld- weite λ_m	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.
2,5	3,32	415	26	3,35	419	26	3,52	441	26	3,75	469	27	3,91	489	27	4,05	507	28
3,0	4,04	505	28	4,09	511	28	4,35	544	28	4,57	571	29	4,77	596	29	4,95	619	30
3,5	4,80	600	30	4,84	605	30	5,16	645	30	5,42	677	32	5,66	707	32	5,89	736	32
4,0	5,56	695	32	5,62	703	32	6,00	750	32	6,30	786	34	6,59	821	34	6,85	857	34
4,5	6,33	792	34	6,45	806	34	6,81	852	34	7,19	899	34	7,56	945	36	7,88	985	36
5,0	7,12	891	34	7,26	908	34	7,75	968	36	8,14	1018	36	8,56	1070	36	8,93	1116	38
5,5	7,97	997	36	8,10	1013	36	8,68	1085	36	9,13	1141	38	9,58	1197	38	10,03	1254	38
6,0	8,83	1104	38	9,01	1120	38	9,61	1202	38	10,16	1270	40	10,65	1331	40	11,13	1392	40
6,5	10,15	1269	40	10,35	1294	40	11,04	1381	40	11,67	1459	40	12,25	1533	42 ^{1/2}	12,74	1591	42 ^{1/2}
7,0	11,63	1454	40	11,86	1483	42 ^{1/2}	12,69	1587	42 ^{1/2}	13,30	1663	42 ^{1/2}	14,01	1751	45	14,61	1826	45
7,5	13,34	1668	42 ^{1/2}	13,58	1697	42 ^{1/2}	14,34	1793	45	15,03	1879	45	15,78	1973	45	16,55	2069	47 ^{1/2}

Tafel 21.

Längsträger. Radlast 5 t + 10 vH Stoßzuschlag.

Schwere Fahrbahn.

$c =$	0,80 m			0,90 m			1,00 m			1,10 m			1,20 m			1,30 m			Buckelplatten 1,80 m		
Feld- weite λ_m	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.	M_{\max} tm	Erf. W ccm	Es genügt I N.-P.
3	5,04	630	30	5,16	643	30	5,46	683	32	5,70	712	32	6,04	755	32	6,29	786	34	8,18	1022	36
3,5	6,05	757	32	6,22	778	32	6,58	823	34	6,96	870	34	7,29	911	34	7,61	951	36	9,95	1243	38
4	7,14	893	34	7,35	919	34	7,77	972	36	8,24	1030	36	8,63	1079	36	9,01	1126	38	11,80	1475	42 ^{1/2}
4,5	8,29	1036	36	8,54	1065	36	9,03	1129	38	9,58	1197	38	10,05	1257	38	10,50	1313	40	13,80	1725	42 ^{1/2}
5	9,50	1188	38	9,84	1230	38	10,37	1299	40	11,02	1378	40	11,59	1449	40	12,13	1517	42 ^{1/2}	15,94	1993	45
5,5	10,81	1351	40	11,21	1402	40	11,81	1477	42 ^{1/2}	12,59	1573	42 ^{1/2}	13,26	1657	42 ^{1/2}	13,86	1733	42 ^{1/2}	18,21	2277	47 ^{1/2}
6	12,14	1518	42 ^{1/2}	12,7	1583	42 ^{1/2}	13,34	1668	42 ^{1/2}	14,19	1774	45	15,00	1876	45	15,72	1965	45	20,69	2586	50
6,5	13,59	1699	42 ^{1/2}	14,22	1778	45	15,01	1876	45	15,82	1990	45	16,85	2106	47 ^{1/2}	17,66	2208	47 ^{1/2}	23,35	2919	55
7	15,09	1886	45	15,77	1972	45	16,72	2091	47 ^{1/2}	17,76	2220	47 ^{1/2}	18,74	2343	47 ^{1/2}	19,75	2469	50	26,04	3255	55
7,5	16,74	2093	47 ^{1/2}	17,48	2186	47 ^{1/2}	18,60	2325	47 ^{1/2}	19,87	2483	50	21,07	2633	50	22,14	2768	55	29,36	3670	60

Tafel 22.

Dampfwalzenbelastung.

Fahrbahn doppelter Bohlenbelag.

Längsträger.				Dampfwalzenbelastung.												Fahrbahn doppelter Bohlenbelag.							
c =	0,80 m			0,90 m			1,00 m			1,10 m			1,20 m			1,30 m			1,40 m				
d	19 cm			20 cm			21 cm			21 cm			22 cm			22 cm			22 cm				
Feld- weite	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓		
λ _m	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.		
2,5	4,40	400	26	4,65	423	26	4,85	441	26	5,03	459	27	5,20	473	27	5,33	485	27	5,46	497	28		
3,0	5,30	481	27	5,62	511	28	5,90	536	28	6,10	555	29	6,32	574	29	6,48	590	29	6,67	605	30		
3,5	6,27	570	29	6,65	605	30	6,99	636	30	7,24	658	32	7,49	682	32	7,75	701	32	7,93	721	32		
4,0	7,29	662	32	7,73	703	32	8,06	733	32	8,40	764	32	8,72	793	34	9,00	816	34	9,24	840	34		
4,5	8,28	754	32	8,82	794	34	9,19	838	34	9,61	874	34	9,98	908	34	10,27	937	36	10,66	968	36		
5,0	9,35	849	34	9,95	907	34	10,45	952	36	10,89	990	36	11,30	1026	36	11,66	1059	36	12,03	1092	38		
5,5	10,34	940	36	11,20	1018	36	11,73	1066	36	12,58	1138	38	13,13	1194	38	13,65	1241	38	14,18	1290	40		
6,0	11,72	1065	36	12,65	1150	38	13,33	1212	38	14,20	1291	40	14,80	1346	40	15,54	1413	40	16,51	1501	42 1/2		
6,5	13,03	1185	38	14,11	1282	40	14,63	1329	40	15,89	1445	40	16,95	1541	42 1/2	17,71	1611	42 1/2	18,68	1707	45		
7,0	14,38	1298	40	15,65	1423	40	16,57	1507	42 1/2	17,73	1617	42 1/2	19,02	1729	42 1/2	19,27	1752	45	21,40	1952	45		
7,5	15,51	1407	40	17,21	1564	42 1/2	18,32	1673	42 1/2	19,69	1790	45	21,60	1955	45	22,29	2025	45	24,93	2276	47 1/2		

Tafel 23.

Dampfwalzenbelastung.

Schwere Fahrbahn.

c =	0,80 m			0,90 m			1,00 m			1,10 m			1,20 m			1,30 m			1,40 m			Buckelplatten 1,80 m		
Feld- weite	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓	M _{max}	Erf. W	Es ge- nügt ↓
λ _m	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.	tm	ccm	N.-P.
3,0	5,91	536	28	6,32	575	29	6,63	603	30	6,91	629	30	7,18	652	30	7,43	675	32	7,67	697	32	8,39	762	32
3,5	7,10	646	30	7,60	691	32	7,98	725	32	8,34	758	32	8,67	789	34	8,99	818	34	9,28	845	34	10,25	931	36
4,0	8,38	761	32	8,95	814	34	9,36	851	34	9,85	896	34	10,28	935	36	10,66	969	36	11,02	1002	36	12,21	1109	38
4,5	9,68	881	34	10,38	937	34	10,87	988	36	11,44	1040	36	11,97	1089	36	12,41	1129	38	12,91	1173	38	14,30	1300	40
5,0	11,05	1005	36	11,89	1081	36	12,54	1139	38	13,15	1195	38	13,75	1249	38	14,28	1298	40	14,81	1345	40	16,55	1504	42 1/2
5,5	12,42	1129	38	13,52	1229	38	14,21	1291	40	15,22	1383	40	16,03	1457	40	16,69	1517	42 1/2	17,40	1582	42 1/2	19,69	1790	45
6,0	14,22	1293	40	15,30	1391	40	16,24	1477	42 1/2	17,45	1587	42 1/2	18,52	1684	42 1/2	19,23	1748	45	20,42	1856	45	23,15	2104	47 1/2
6,5	15,98	1452	40	17,40	1581	42 1/2	18,06	1641	42 1/2	19,73	1794	45	21,02	1911	45	22,10	2010	45	24,14	2195	47 1/2	26,55	2414	50
7,0	17,76	1614	42 1/2	19,48	1771	45	20,63	1876	45	22,26	2023	45	23,81	2165	47 1/2	25,04	2275	47 1/2	27,37	2507	50	30,38	2762	55
7,5	19,50	1770	45	21,54	1958	45	23,11	2101	47 1/2	24,83	2257	47 1/2	27,02	2457	50	28,26	2569	50	31,17	2835	55	34,10	3099	55

Tafeln für Querträger.

(Vgl. Bemerkungen S. 1079 u. 1080.)

Abb. 239 zeigt die zugrunde gelegte Laststellung.

Dampfwalzenbelastung (Abb. 240) ergibt bei der höheren Spannung (S. 1079) nur bei kleiner Brückenbreite und geringer Feldweite in einigen Fällen ein unbedeutend höheres Widerstandsmoment.

Abb. 239.

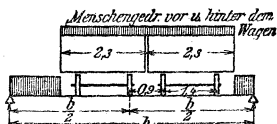
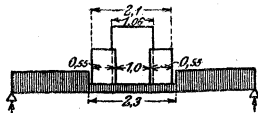


Abb. 240.



Querträger.

Tafel 24.

Fahrbahn	Doppelter Bohlenbelag												
Wagenlast	Zwei 12 t-Wagen						Ein 12 t- und ein 20 t-Wagen						
Stützweite	6 m		8 m		10 m		6 m		8 m		10 m		
	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	
Querträger- entfernung	3,5 m	17,38	2173	29,97	3746	44,99	5 624	22,85	2856	37,90	4737	56,13	7 016
	4,0 „	20,02	2503	34,18	4273	51,30	6 386	24,80	3101	41,61	5201	61,70	7 706
	4,5 „	22,31	2788	37,00	4625	57,35	7 168	26,73	3342	44,99	5624	67,10	8 386
	6,0 „	28,34	3543	48,97	6121	73,15	9 144	34,42	4303	58,53	7316	84,72	10 590
	7,5 „	34,30	4288	58,03	7254	89,58	11 198	41,68	5210	70,56	8820	106,1	13 260

Querträger.

Tafel 25.

Fahrbahn		Schwere Fahrbahn 900 kg/qm											
Wagenlast		Zwei 12 t-Wagen 10 vH Stofszuschlag						Ein 12 t- und ein 20 t-Wagen 10 vH Stofzzuschlag					
Stützweite		6 m		8 m		10 m		6 m		8 m		10 m	
		M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm	M_{\max} tm	$W_{\text{erf.}}$ ccm
Querträger- entfernung	3,5 m	29,10	3638	50,16	6 271	76,90	9 613	34,67	4333	58,28	7 285	87,37	10 921
	4,0 „	33,12	4178	57,47	7 184	88,07	11 009	37,92	4740	64,35	8 044	97,00	12 125
	4,5 „	37,56	4695	64,77	8 097	98,99	12 374	41,38	5173	70,47	8 809	106,41	13 301
	6,0 „	48,31	6039	83,31	10 414	127,50	15 938	53,85	6731	91,53	11 442	139,10	17 388
	7,5 „	58,81	7351	102,92	12 865	158,37	19 796	65,46	8182	112,07	14 009	170,57	21 321

Tafel 26.
Längsträrgewichte ohne Anschluß für 1 qm Fahrbahn.

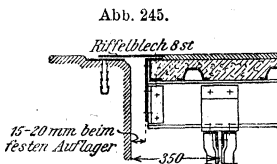
Längsträger- entfernung <i>c</i>	Fahrbahn doppelter Bohlenbelag in m					Schwere Fahrbahn (900 kg/qm)					Art der Belastung	
	$\lambda = 3,0$	$\lambda = 3,5$	$= 4,5$	$\lambda = 6,0$	$\lambda = 7,5$	$\lambda = 3,0$	$\lambda = 3,5$	$\lambda = 4,5$	$\lambda = 6,0$	$\lambda = 7,5$		
	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg	<i>G</i> in kg		
0,90	40,3	43,3	53,3	67,8	93,3	46,5	53,3	67,8	93,3	115,5	Zwei 12 t-Wagen	Spannung 800 kg/qcm. Bei schwerer Fahrbahn 10 vH Zuschlag an Rad- drücke für Stöße
1,10	35,5	40,3	49,3	61,8	84,2	43,6	49,3	61,8	84,2	104,5		
1,30	32,2	36,9	46,9	58,7	71,3	39,2	46,9	58,7	80,0	98,5		
1,80							42,3	51,4	71,2	92,5		
0,90	53,3	60,2	75,6	93,3	115,5	60,2	67,8	84,7	115,5	142,2	Ein 20 t- und ein 12 t-Wagen	
1,10	46,3	55,5	61,8	84,2	104,5	55,5	61,8	76,3	104,5	128,2		
1,30	41,7	46,9	58,6	71,3	98,5	52,4	58,7	71,3	88,5	108,4		
1,80							46,7	57,7	78,2	92,5 ¹⁾		
0,90	53,3	60,2	75,5	93,3	115,5	56,6	67,8	75,6	102,8	127,8	23 t-Dampf- walze	Spannung 1100 kg/qcm. Kein Zuschlag für Stöße
1,10	46,3	55,6	61,8	84,1	104,5	49,3	55,5	69,3	94,5	116,3		
1,30	39,2	46,9	58,5	71,3	88,5	46,9	52,4	64,6	88,5	108,5		
1,80							42,3	51,4	71,2	92,5		

Tafel 27.
Querträrgewichte einschließlic Längsträgeranschlüsse für 1 qm Fahrbahn.

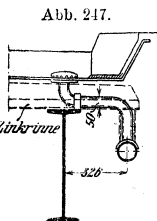
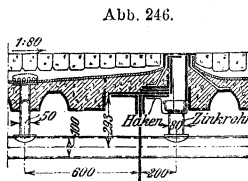
Feld- weite λ	Fahrbahn	Doppelter Bohlenbelag						Schwere Fahrbahn 900 kg/qm					
	Radlast	Zwei 12 t-Wagen G in kg			Ein 20 t- und ein 12 t-Wagen G in kg			Zwei 12 t-Wagen 10 vH Stoßzuschlag G in kg			Ein 20 t- und ein 12 t-Wagen 10 vH Stoßzuschlag G in kg		
	Stützweite (Hauptträger- entfernung)	6,00 m	8,00 m	10,00 m	6,00 m	8,00 m	10,00 m	6,00 m	8,00 m	10,00 m	6,00 m	8,00 m	10,00 m
$\left\{ \begin{array}{l} 3,50 \text{ m} \\ 4,50 \text{ " } \\ 6,00 \text{ " } \\ 7,50 \text{ " } \end{array} \right.$	42,0	51,2	60,8	45,8	57,6	71,5	53,7	66,3	80,1	58,7	72,5	87,3	
	35,4	44,4	53,8	39,7	51,3	58,6	46,1	61,0	74,1	50,2	63,8	78,0	
	30,1	37,5	44,8	32,6	42,1	47,5	42,5	52,3	64,5	46,8	56,0	67,2	
	26,1	33,9	42,1	30,2	37,8	45,2	38,5	48,2	58,1	41,3	50,7	66,9	

1) Bei I N-Pr. 55 und $\sigma = 814$.

wendbar wie bei Eisenbahnbrücken (Abb. 212b). Abb. 242 u. 243 zeigen Widerlageranschlüsse am beweglichen Auflager und Abb. 244 stellt den Gufskörper *G* (Stahlgufs) in Abb. 243 dar. Derartige Abschlufkörper, die zugleich als Auflager einer schleifenden Platte (Schleppblech) dienen, werden auch ganz aus Flußeisen gebaut und aus den üblichen Profilen zusammengesetzt (dann leicht weniger gute Anschmiegung an das Querprofil der StraÙe). Bei gröÙeren Bewegungen



Beim festen Auflager fällt das Riffelblech fort.



Verwendung zweier „Kämme“ aus Stahlgufs, deren ineinandergreifende, etwa 3 cm breite Finger die Oeffnung überbrücken. Die bei solchen Konstruktionen entstehenden Rillen sollen höchstens 40 mm breit sein.

Ansprüche an Anschlusskonstruktionen:

Schmutzansammlung möglichst verhütet, etwaige Ansammlung entferbar. Zugänglichkeit, Möglichkeit der Auswechslung bei Erneuerung. Rinne zum Abführen des durchfließenden Wassers.

Abb. 245. Anschluss des Fußweges an das Widerlager. Abb. 246 zeigt eine Bewegung gestattende Fahrbahnunterbrechung, wie sie z. B. über den Gelenken und Ausdehnungsstellen der Gerberträger nötig ist.

6. Entwässerung.

Längs- und Querneigung erforderlich s. S. 1073. Es ist für Abflufs des Wassers von der Oberfläche der StraÙsendecke (Abb. 248 u. 249)⁴⁸⁾ und des durch die StraÙsendecke durchsickernden Wassers (Abb. 246 u. 247) zu sorgen. Die Längsträger sind bei der Einteilung des Fahrbahngerippes so zu legen, dafs sie der Entwässerungsanlage nicht im Wege sind (Abb. 248 u. 249).

Bei längerer Leitung unter der Brücke Gully erforderlich, vrgl. Abb. 249. (Ein Belageisen war hier zu unterbrechen.)

D. Gewichtsberechnungen.

Ueber Eigen- und Eisengewichte der eisernen Brücken vrgl. auch S. 65 bis 71 sowie S. 1068 und Tafel 12, 26 u. 27. Bei sehr sparsamer Konstruktion ist es oft möglich, die Eisengewichte nach Dirksens Formeln (S. 70) um 10 oder u. Umst. 15 vH zu unterschreiten. Gelten die zur Verfügung stehenden Annäherungsformeln zur Ermittlung des Gewichts eines Fachwerkträgers nicht für das betreffende Hauptträgersystem bzw. für die in Frage kommende Brückenbelastung, so er-

mittelt man unter Zugrundelegen eines geschätzten Hauptträgergewichts das theoretische Gewicht $G_1 = 7,85 \Sigma \frac{S \cdot s}{\sigma}$, wo S Stabkraft in t, s Stablänge in m und σ die zulässige Spannung in t/qm bedeutet. Das Hauptträgergewicht ist dann $G = \alpha \cdot G_1$, wo α (Bauziffer, Kon-

Abb. 248.

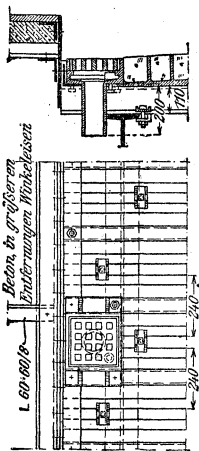
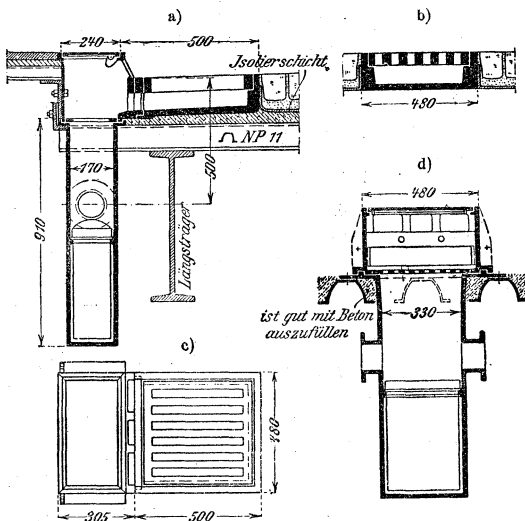


Abb. 249.



struktionskoeffizient) die Zuschläge für Knotenbleche, Vergitterungen, der Knicksicherheit wegen erforderliche Querschnittsvergrößerungen, Nietabzüge, Nietköpfe usw. enthält.

Nach Schaper kann man für Balkenbrücken im Mittel $\alpha = 1,7$ und für Bogenbrücken mit Zugband $\alpha = 1,55$ setzen.⁴⁹⁾ Legt man dagegen die endgültig gewählten Querschnitte F zugrunde, so ist $G = \alpha_1 \cdot 7,85 \Sigma F s$, F in qm, s in m, α_1 dürfte hierbei meistens 1,25 überschreiten.

Für überschlägliche Gewichtsberechnung von Fachwerkhauptträgern mit Spannweiten $l = 20$ m bis $l = 100$ m und für unbeschränkte Konstruktionshöhe empfiehlt sich die Formel von E. Björnstad:

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{c}{1-c}, \quad \text{wo } c = \frac{0,4 l^2}{h \cdot \sigma}.$$

Hierbei ist G_1 die Verkehrslast nebst gesamtem Eigen- und Eisengewicht der Fahrbahn und Fußwege, G_2 das Eisengewicht der beiden Hauptträger nebst Wind- und Querverbänden für 1 m Brücke, l und h in m, die zulässige Spannung σ in kg/qcm.

Diese Gewichtsformel setzt äußerster Sparsamkeit der Konstruktion voraus, sonst ist in c der Koeffizient 0,4 etwas zu erhöhen.

Für $\frac{h}{l} > \frac{1}{7}$ ergeben sich zu geringe Gewichte, bei abnehmender Trägerhöhe schließlich zu grofse.

⁴⁹⁾ Schaper, Bauziffer der Hauptträger eiserner Brücken, Z. d. B. 1909 S. 123.

Als gleichmäßige Verkehrslast bei Eisenbahnbrücken setze man $p = \frac{8}{l^2} \max M_p$.
Gewichtsformeln von R. Krohn:⁵⁰⁾

Bedeutung l die Stützweite, h die Systemhöhe des Trägers (bei Bogenbrücken die Scheitelhöhe), f die Pfeilhöhe der Bogenachse, g das gesamte Eigengewicht der Brücke, p die gesamte bewegliche Belastung, B das Gewicht der Fahrbahn (Gerippe und Decke) für 1 m Brücke, σ die zulässige Spannung in t/qm, dann hat man für

1. Parallelträger:

$$g = \frac{B\sigma + 16,75 pl \left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2} \right)}{\sigma - 13,73 l \left(\frac{l}{6h} + \frac{1}{2} \right)};$$

2. Parabelträger:

$$g = \frac{B\sigma + 15,25 pl \left(\frac{l}{4h} + \frac{2}{3} \frac{h}{l} \right)}{\sigma - 13,73 l \left(\frac{l}{4h} + \frac{2}{3} \frac{h}{l} \right)};$$

3. durchlaufende Träger:

a) Mittelfeld

$$g = \frac{B\sigma + 25,40 pl \left(0,0642 \frac{l}{h} + 0,5 \right)}{\sigma - 13,73 l \left(0,0642 \frac{l}{h} + 0,5 \right)};$$

b) Endfeld

$$g = \frac{B\sigma + 23,75 pl \left(0,1022 \frac{l}{h} + 0,522 \right)}{\sigma - 13,73 l \left(0,1022 \frac{l}{h} + 0,522 \right)}.$$

Bogenträger.

4. Dreieigenkbogen:

$$g = \frac{B\sigma + 25,41 pl \left(\frac{l}{8f} + \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{l} \right)}{\sigma - 13,73 l \left(\frac{l}{8f} + \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{l} \right)}.$$

5. Zweieigenkbogen (Temperaturerhöhung 30°):

$$g = \frac{B\sigma + 21,29 pl \left(\frac{l}{8f} + \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{l} + \frac{3}{16} \frac{lh}{f(4f-3h)} \right)}{\sigma - 13,73 l \left(\frac{l}{8f} + \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{l} + \frac{1}{4} \frac{lh}{f(4f-3h)} \right)}.$$

6. Eingespannter Bogen:

$$g = \frac{B\sigma + 17,85 pl \left(\frac{l}{8f} + \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{l} + 0,22 \frac{lh}{f(2f-3h)} \right)}{\sigma - 13,73 l \left(\frac{l}{8f} + \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{l} + 0,27 \frac{lh}{f(2f-3h)} \right)}.$$

In 5. und 6. ist das Schlußglied in der Klammer unter der Annahme von $\sigma = 10\,000$ t/qm gebildet worden.

Die Ableitung dieser Formeln setzt voraus, daß die Stabquerschnitte annähernd proportional den Kräften sind. Die annähernde Gültigkeit hört bei Balkenträgern auf, wenn $\frac{h}{l} > \frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{6}$. Ebenso wie nach der Formel von Björnstad ergeben sich nach diesen Formeln für Balkenträger mit zunehmender Höhe sehr stark abnehmende Gewichte.

Das Gewicht der Windverbände beträgt im Mittel nach Schaper³³⁾ bei einem Windverbände 7 vH, bei zwei Windverbänden 11 vH des Gewichts der Hauptträger.

Knotenbleche wiegen im Mittel 30 vH der anzuschließenden Stäbe,⁸⁾ diese nach den geometrischen Längen gerechnet. Dies gilt auch für die Knotenbleche der Windverbände.

Das Gewicht eines vollwandigen Trägers ohne Stöße und Verstärkungen beträgt recht genau^{[8)} S. 571]

bei Höhen über 1 m $g = 0,45 \delta \cdot h + 2 W : h,$

„ „ unter 1 m $g = \frac{1}{3} (\delta h + 7 W : h).$

⁵⁰⁾ Aus den Vorlesungen der techn. Hochschule in Danzig 1910.

gefordert werden, daß die Resultante aller angreifenden Kräfte sich dem Fugenrande nicht zu sehr nähert. Als kleinste Entfernung

Abb. 256.⁵⁰⁾

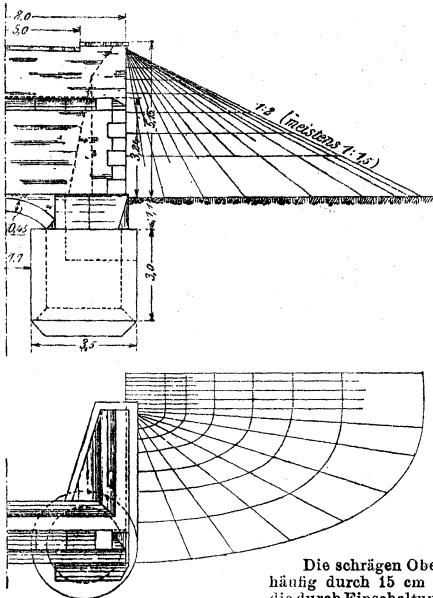
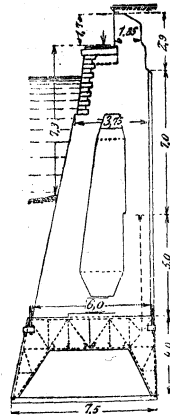
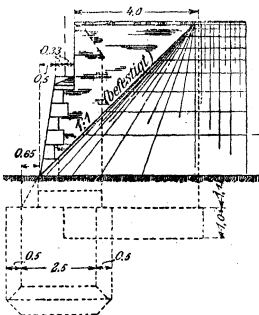


Abb. 257.⁵⁰⁾



zwischen dem Angriffspunkte der Resultante und dem Fugenrande kann etwa $\frac{1}{6}$ der Mauerstärke angesehen werden.

Die schrägen Oberflächen der Winkelflügel werden häufig durch 15 cm starke Quaderplatten abgedeckt, die durch Einschaltung von Ankersteinen am Abgleiten verhindert werden. Eine häufige Abdeckung ist auch eine Ziegelrollschicht. Diese kann durch Ankerquadern oder durch treppenförmige Abgrenzung gegen das übrige Mauerwerk am Abgleiten verhindert werden. Die Rückenflächen der Widerlager und Flügel sind durch Isoliermittel gegen die Erdfeuchtigkeit zu schützen.



III. TAFELN FÜR GEWÖLBTE BRÜCKEN.

Tafel 28 bis 33.⁵³⁾

Belastungsannahmen bei der Berechnung der Tabellen:

das spezifische Gewicht des Mauerwerks
2,2 (z. B. Beton)

⁵³⁾ Die einzelnen Zahlen in den Tafeln 28 bis 33, ebenso die zugehörigen Abb. 259 bis 261, sind den maßstäblichen Abbildungen des Werkes: Fr. Bartels, Festigkeits- und Massennachweise für gewölbte Eisenbahn- und Straßenbrücken, Malstatt-Burbach 1907, Verlag des Verfassers, entnommen.

Die **Verkehrslast** ist bei den Eisenbahnbrücken unter der Annahme einer Mindestbreite des Bauwerkes von 4 m für 1 Gleis je nach der Belastungslänge zu 3,2 bis 2,8 t/qm ermittelt. Bei Straßenbrücken entsprechend zu 1,8 bis 0,8 t/qm.

Bei der Ermittlung der Gewölbestärke (einseitige Belastung) ist angenommen worden, daß die Stützlinie durch die Scheitelmittle geht und in der Entfernung 0,2 Spannweite vom Scheitel auf der belasteten Seite um $\frac{0,01 p l^2}{H}$ nach oben, auf der unbelasteten Seite um denselben Betrag nach unten von der Gewölbemittellinie abweicht, während die Abweichungen in der Kämpfersenkrechten entsprechend $\frac{0,0125 p l^2}{H}$ sind, auf der belasteten Seite nach unten, auf der un-

Abb. 260.

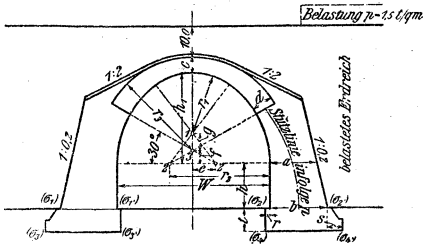
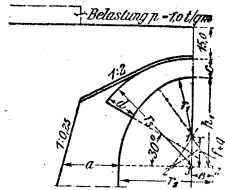


Abb. 261.



lasteten Seite nach oben.
[S. Tolkmitt⁵⁴) S. 47].

Abb. 262. Kleinste zulässige Höhe zwischen Gewölbe und Schutzschicht. Die eingeklammerte Zahl bezieht sich auf Nebenbahnen.

Abb. 263. Höhen bei normaler Bettung.

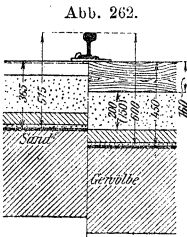


Abb. 263.

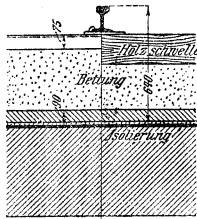


Abb. 264.

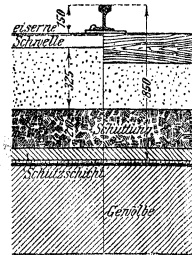


Abb. 264. Wünschenswerte Höhe zwischen Gewölbe und S.-O. Diese größere Aufschüttungshöhe ist für das eigentliche Gewölbe günstiger als die geringere.

Bei sehr beschränkter Höhe können als Schutzschicht für die Isolierung (Asphaltfilz, Jeserit usw.) statt einer Ziegelflächenschicht eine doppelte Lage Biberschwänze oder dünne (3 cm) Zementplatten bzw. Eisenbetonplatten verwendet werden.

IV	c	d	a	σ_g	G	2 Z	A	h	b	t	s	r	Spannungen infolge				p
													p_2		p_3		
													σ_1	σ_3	σ_2	σ_4	
m	m	m	m	kg/qcm	qm	qm	m	m	m	m	m	m	kg qcm	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	t/qm
2,00	0,35	0,35	0,85	4,00	0,86	1,30	3,74	2,00	1,25	1,00	0,20	0,15	2,14	1,77	1,83	2,76	3,2
4,00	0,45	0,55	1,20	5,16	2,30	4,04	6,00	1,00	1,40	1,00	0,30	0,20	3,06	2,88	1,19	1,45	3,2 ²⁾
								3,00	1,80	1,00	0,30	0,30	2,81	2,41	3,26	3,05	3,2 ²⁾
6,00	0,55	0,70	1,60	5,70	4,16	7,95	8,65	1,50	1,90	1,20	0,50	0,20	4,35	3,50	1,54	1,94	3,2 ²⁾
								4,50	2,50	1,20	0,70	0,70	3,65	2,86	4,70	3,00	3,2 ²⁾
8,00	0,65	0,85	1,90	6,80	6,56	12,64	11,02	2,00	2,30	1,20	0,60	0,20	4,80	3,76	2,66	2,90	3,2 ³⁾
								6,00	3,10	1,20	0,80	0,80	3,22	2,66	7,25	4,45	3,2 ³⁾
10,00	0,75	1,00	2,25	8,86	9,50	18,69	13,48	2,50	2,75	1,50	0,60	0,30	5,02	4,30	3,09	3,28	3,0 ²⁾
								6,50	3,55	1,50	0,75	1,00	3,42	3,40	7,35	4,53	3,0 ²⁾
12,00	0,80	1,10	2,60	8,30	12,21	25,78	16,00	3,00	3,20	1,50	0,60	0,40	4,60	3,92	4,19	4,00	2,8
								7,50	4,10	1,80	1,20	1,20	4,92 ¹⁾	3,32 ¹⁾	9,10	5,30	2,8
16,00	0,90	1,40	3,40	11,4	19,15	44,30	21,20	4,00	4,20	1,50	0,70	0,50	4,9	4,65	5,23	4,43	2,8
								8,00	5,00	2,00	1,40	1,40	5,72 ¹⁾	3,87	9,00	5,50	2,8

1) Hier sind die Spannungen σ_1' u. σ_3' angegeben; da größer wie σ_1 u. σ_3 . — 2) $p_3 = 2,8$ t/qm. — 3) $p_3 = 2,8$; $p_2 = 3,0$ t/qm.

														Segmentbogen (Abb. 239).				
W	c	d	a	σ_g	G	2 Z	A	h	y	b	t	s	r	Spannungen infolge				p
														p_2		p_3		
														σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	
m	m	m	m	kg/qcm	qm	qm	m	m	m	m	m	m	m	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	t/qm
2,00	0,35	0,35	1,2	2,24	0,925	0,84	4,48	2,5	0	1,825	1,0	0,20	0	1,74	1,08	1,68	1,82	3,2
4,0	0,45	0,50	1,50	6,75	2,37	1,86	6,96	1,0	0	1,8	1,0	0,30	0	1,92	1,17 ¹⁾	2,72	1,36 ¹⁾	3,2 ²⁾
								4,0	0	2,7	1,0	0,30	0	2,86	1,72	2,66	2,42	3,2 ²⁾
6,0	0,55	0,65	1,85	8,4	4,38	3,33	9,66	1,5	0	2,3	1,2	0,50	0	2,80	1,84 ¹⁾	3,2	1,86 ¹⁾	3,2 ²⁾
								6,0	0	3,65	1,2	0,50	0	3,53	2,60	3,04	3,42	3,2 ²⁾
8,00	0,65	0,80	2,20	9,4	6,96	5,18	12,30	2,0	0	2,8	1,20	0,80	0	3,34	2,52 ¹⁾	3,16	2,22 ¹⁾	3,5 ³⁾
								8,0	0	4,6	1,20	0,60	0,2	3,65	3,30	3,30	3,64	3,2 ³⁾
10,0	0,75	0,95	2,55	10,6	10,11	7,51	14,91	2,5	0	3,3	1,50	0,9	0	3,92	2,82 ¹⁾	3,77	2,54 ¹⁾	3,2 ²⁾
								10,0	2,5	5,3	1,50	0,7	0,5	4,1	4,7	3,80	4,3	3,0 ²⁾
12,00	0,80	1,10	2,90	11,4	13,32	9,84	17,64	3,0	0	3,8	1,50	1,0	0	4,45	3,35 ¹⁾	4,1	2,91 ¹⁾	2,8
								12,0	4,5	6,05	1,50	0,8	0,8	4,38	5,7	4,3	4,8	2,8
16,0	0,90	1,3	3,60	14,2	20,26	16,32	22,98	4,0	0	4,8	2,00	1,2	0	5,4	3,95 ¹⁾	5,0	3,5 ¹⁾	2,8
								16,0	8,0	7,6	2,00	1,2	1,2	4,85	7,85	4,9	6,2	2,8

1) Hier sind die Spannungen σ_1 und σ_2 für p_2 und σ_3 und σ_4 für p_3 angegeben.

1) Hier sind die Spannungen σ_2' u. σ_4' angegeben; da größer wie σ_2 u. σ_4 . — 2) $p_3 = 2,8$ t/qm. — 3) $p_3 = 2,8$, $p_2 = 3,0$ t/qm.

Straßenbrücken.

Tafel 30.

Segmentbogen (Abb. 239).

W	c	d	a	σg	G	2 Z	A	h	b	t	s	r	Spannungen infolge				p ₁	p _{2 + 3}
													p ₂		p ₃			
													σ_1 kg/qcm	σ_3 kg/qcm	σ_2 kg/qcm	σ_4 kg/qcm		
m	m	m	m	kg/qcm	qm	qm	m	m	m	m	m	m	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	t/qm	t/qm
2,00	0,25	0,25	0,90	—	0,64	0,58	3,88	2,50	1,4	1,0	0,2	0	1,64	1,31	1,1	2,08	2,0	1,6
4,0	0,3	0,35	1,15	5,5	1,564	1,4	6,4	1,0	1,3	1,0	0,35	0	1,83	2,05	1,47 ¹⁾	1,48 ¹⁾	1,5	1,2
								4,0	1,95	1,0	0,3	0	2,34	1,78	1,69	2,53	1,5	1,2
6,0	0,35	0,45	1,4	6,78	2,806	2,46	8,90	1,5	1,7	1,2	0,4	0	2,5	2,7	2,22 ¹⁾	2,18 ¹⁾	1,2	1,0
								6,0	2,6	1,2	0,3	0,3	2,3	2,08	2,72	3,0	1,2	1,0
8,00	0,4	0,55	1,7	8,0	4,38	3,96	11,52	2,0	2,1	1,2	0,6	0	3,27	2,92	2,68 ¹⁾	2,3	1,2	1,0
								8,0	3,3	1,2	0,4	0,7	2,97	2,36 ¹⁾	4,32	3,35	1,2	1,0
10,0	0,45	0,6	2,0	9,9	6,05	5,97	14,13	2,5	2,5	1,5	0,6	0	3,58	3,42	3,04 ¹⁾	3,04 ¹⁾	1,2	1,0
								10,0	4,0	1,5	0,5	1,0	4,46 ¹⁾	3,05 ¹⁾	5,15	3,85	1,2	1,0
12,0	0,5	0,7	2,3	11,0	8,22	8,32	16,73	3,0	2,9	1,5	1,0	0	3,5	2,75	3,47 ¹⁾	2,63 ¹⁾	1,1	0,9
								10,5	4,4	1,5	0,8	1,0	4,97 ¹⁾	3,52 ¹⁾	5,65	4,02	1,1	0,9
16,0	0,6	0,9	2,9	12,9	13,49	13,85	22,0	4,0	3,7	1,8	1,2	0	4,8	3,8	4,78 ¹⁾	3,62 ¹⁾	1,0	0,8
								14,0	5,7	2,5	1,6	1,6	7,0 ¹⁾	4,7	7,62	5,1	1,0	0,8

1) Hier sind die Spannungen σ_1' , σ_2' , σ_3' u. σ_4' angegeben, da größer wie σ_1 , σ_2 , σ_3 u. σ_4 .

Eisenbahnbrücken mit 5 m Ueberschüttung.

Tafel 31.

Halbkreisbogen (Abb. 258).

W	a	2 z	A	h	b	t	s	r	Spannungen infolge				p
									p ₁		p ₁		
									σ_1 kg/qcm	σ_3 kg/qcm	σ_2 kg/qcm	σ_4 kg/qcm	
m	m	qm	m	m	m	m	m	m	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	t/qm
2,00	1,0	1,5	4,11	2,0	1,4	1,0	0,3	0,2	3,26 ¹⁾	3,25 ¹⁾	2,54 ¹⁾	2,12	2,0
3,00	1,25	2,68	5,64	2,50	1,75	1,0	0,35	0,15	—	—	—	—	2,0
4,00	1,5	4,16	7,15	3,0	2,1	1,0	0,4	0,1	3,56	3,4 ¹⁾	4,6 ¹⁾	3,49 ¹⁾	2,0
5,00	1,7	5,82	8,50	3,0	2,3	1,1	0,6	0,1	—	—	—	—	2,0
6,00	1,9	7,84	9,9	3,0	2,5	1,2	0,7	0,1	4,4	3,86 ¹⁾	5,5 ¹⁾	4,0 ¹⁾	2,0
7,00	2,15	10,4	11,38	3,0	2,75	1,2	0,75	0,1	—	—	—	—	2,0
8,00	2,4	13,1	12,92	3,2	3,04	1,2	0,8	0,1	4,78	4,04 ¹⁾	6,52 ¹⁾	4,04 ¹⁾	2,0

1) Hier sind die Spannungen σ_1' , σ_2' , σ_3' u. σ_4' angegeben, da größer wie σ_1 , σ_2 , σ_3 u. σ_4 .

Eisenbahnbrücken mit 10 m Ueberschüttung.

Tafel 32.

	W	c	d	a	b	h	t	s	r	σ_2	σ_4	h_1	e	f'	g	r_1	r_2	r_3
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	kg/qcm	kg/qcm	m	m	m	m	m	m	m
Ueberhöhter Kreishbogen Abb. 260.	2,0	0,35	0,43	1,1	1,46	1,8	1,0	0,3	0,4	4,28	3,1	1,2	0,3	0,173	0,227	0,8	1,3	1,376
	3,0	0,43	0,54	1,35	1,79	2,2	1,0	0,4	0,3	—	—	1,8	0,45	0,26	0,34	1,2	1,95	1,97
	4,0	0,5	0,65	1,6	2,12	2,6	1,0	0,5	0,3	4,98	4,2	2,4	0,6	0,346	0,454	1,6	2,6	2,557
	5,0	0,58	0,77	1,85	2,35	2,5	1,1	0,6	0,25	—	—	3,0	0,75	0,43	0,57	2,0	3,25	3,15
	6,0	0,65	0,87	2,05	2,53	2,4	1,2	0,7	0,2	6,8 ¹⁾	5,1	3,6	0,9	0,52	0,68	2,4	3,9	3,73
	7,0	0,73	0,98	2,3	2,76	2,3	1,2	0,75	0,2	—	—	4,2	1,05	0,606	0,794	2,8	4,55	4,32
	8,0	0,80	1,1	2,5	2,98	2,4	1,2	0,8	0,2	7,10 ¹⁾	5,67	4,8	1,2	0,69	0,91	3,2	5,2	4,91
Halbkreisbogen	2,0	0,4	0,4	1,1	1,5	2,0	1,0	0,3	0,25	4,25 ¹⁾	3,4							
	3,0	0,48	0,55	1,45	1,95	2,5	1,0	0,4	0,25	—	—							
	4,0	0,55	0,7	1,8	2,4	3,0	1,0	0,5	0,3	7,05 ¹⁾	5,80 ¹⁾							
	5,0	0,6	0,8	2,05	2,65	3,0	1,0	0,6	0,35	—	—							
	6,0	0,65	0,9	2,3	2,9	3,0	1,2	0,7	0,4	8,85 ¹⁾	7,12 ¹⁾							
	7,0	0,75	1,0	2,55	3,15	3,0	1,2	0,7	0,4	—	—							
	8,0	0,8	1,1	2,8	3,44	3,2	1,2	0,8	0,5	10,6 ¹⁾	8,6 ¹⁾							

¹⁾ Hier sind die Spannungen σ_2' u. σ_4' angegeben, da größer als σ_2 u. σ_4 .

Eisenbahnbrücken mit 15 m Ueberschüttung.

Tafel 33.

Ueberhöhter Bogen (Abb. 261).

W	c	d	a	b	h	h_1	e	$f' + g$	r_1	r_2	r_3	t	s	r	σ_2'	σ_4'
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	kg/qcm	kg/qcm
2,0	0,45	0,6	1,25	1,61	1,8	1,2	0,3	0,4	0,8	1,3	1,65	1,0	0,4	0,25	5,8	4,7
3,0	0,55	0,78	1,5	1,94	2,2	1,8	0,45	0,6	1,2	1,95	2,35	1,0	0,6	0,3	—	—
4,0	0,65	0,95	1,8	2,32	2,6	2,4	0,6	0,8	1,6	2,6	3,05	1,2	0,7	0,3	10,05	7,32
5,0	0,75	1,14	2,1	2,6	2,5	3,0	0,75	1,0	2,0	3,25	3,75	1,3	0,8	0,35	—	—
6,0	0,85	1,31	2,4	2,83	2,4	3,6	0,9	1,2	2,4	3,9	4,45	1,5	0,9	0,4	12,5	9,2
7,0	0,95	1,48	2,7	3,28	2,3	4,2	1,05	1,4	2,8	4,55	5,05	1,5	0,9	0,45	—	—
8,0	1,05	1,65	3,0	3,6	2,4	4,8	1,2	1,6	3,2	5,2	5,85	1,60	1,0	0,50	11,6	9,55

SACHVERZEICHNIS

des ersten, zweiten und dritten Bandes.

Die arabischen Ziffern bedeuten die Seitenzahlen, die römischen die der Bände.

* bedeutet Tafel.

A.

Abdampfbenutzung II 204
 —heizung . . . III 459
Abdichtung . . . I 308
 —, Dampfturb. II 227, 229
Abessynierbrunnen III 715
Abfallrohr . . . II 560
Abfertigungsräume III 839
Abfluß d. Niederschlag-
wassers III 703, 705*
 —menge (Regen)
 III 618, 620*
 —mengenkurve (Flußbar)
 III 533
 —rohrnormalien Blei-
 od. Steinzeug- I 982
 —rohrnormalien, guße-
 eiserne . . . I 964*
Abkühlungsverlust
 d. Dampfmasch. II 119
 — von Rohrleitungen I 469
Abort II 713*; III 512, 693
Abblafsvorrichtung, Kessel-
 II 75, 80, 803; III 903
Abrichtemaschine
 II 380; III 508
Abschamventil . . II 803
Abscherungsbeanspruch-
ung, zulässige I 523*,
 524*; III 62
Abschnitt, Kreis- . . I 36*
Abschreibungssumme I 55*
Absolutes Maßsystem
 I 144, 166; II 857
Absorptionsmittel für
 CO₂, O, CO . . II 326
 —vermögen (Strahlg.) I 409
 — v. Gasen . . . I 282
Absperrrahn . . . I 998
 —schieber . . . I 959, 997
 —schieber, Lokomotiv-
 III 903
 —schieber, Wasserleitungs-
 III 733
 —ventil I 995
 —ventil, Dampf-
 II 74, 80, 800

Absperrvorrichtung,
 Kessel . II 74, 80, 800
 —vorrichtung, Widerstands-
 zahlen . . . I 806
Abstellbahnhof . . III 840
Abteufpumpe . . . II 620
Abtsche Weiche . III 958
 — Zahnstange . . III 954
Abwärmeheizung . III 460
Abwasserleitung s.
 Städteentwässerung
 —reinigung . . . III 758
Achsbüchse, —halter
 (Eisenb.) . . . III 929
Achse I 850, 854
 —, Dynamomasch.- II 910
 —, Eisenbahn- . . III 872
 —, freie I 223
 —, Lenk- III 931
 —, Lokomotiv- . . . I 937
 —, neutrale (Biegungs-
 festigk.) . . . I 541
 —, verschlebbare
 III 912, 931
 —, Treib- III 912
 —, Zentral- I 173
 —nkreuz, Koordinaten-
 I 92
 —nkreuz, festes und be-
 wegliches . . . I 220
 —nmoment I 170
 —nregler II 167
Adhäsion (Fahrzeug) II 807
Adiabate vollkommener
 Gase . . . I 424, 425*
 — von Dämpfen . . I 439
Admiralitätsanker . II 708
A. E. G. Curtis-Turbine
 II 241
Äerodynamik . . . I 347
 —gengas II 838
 —statik I 342
A-Fläche, — Linie (Statik)
 III 95
Afonassieffsche Formel
 (Schiffswiderstand)
 II 750
Aggregatformänderg. I 397*

Ahmung II 655
Ähnlichkeitsgesetz,
 (Äerodynamik) I 367
 —, Newtons (Hydr.) I 327
 — (Schiffb.) . . . II 744*
Akkumulator, elek-
 trischer . II 824*, 879
 —enbatterie . . II 824, 881
 —enbatterie, Ladung II 882,
 956, 957, 961
 —enbatterie, Regelg. II 960
 —enbatterie, Schaltg. II 962
 —enbetrieb (Straßensb.)
 II 1018
 —, Fahrzeug- . . . II 824*
 —, hydr.aul. . . . II 392
 —, Regelung der Blei-
 II 960
 —wagen . . II 824; III 924
Aktion d. Wasserstrahls
 I 318
 —sturbine, Dampf- II 223
Alabaster I 700
Alfenide I 697
Alhidade III 14
Alkohol, Heizwert, Luft-
bedarf . . II 251*, 252
 —, spez. Gew. u. Mischungs-
 verhältn. wässrigen —
 I 638*
 —, thermodyn. Werte
 I 498*
Allan-Umsteuerung II 186
Alterungskoeffizient
 (Magnetism.) . . II 861
Aluminium . I 630, 633
 —bronze I 697
 —bronze, Festigkeitszahlen
 I 516*, 521*
 —, Festigkeitsz. I 516*, 521
 —messing I 697
 —messing, Festigkeitszahlen
 I 516*
Aluminothermisches
 Schweißverfahren I 688
Amagatsche Kohlensäure —
Versuche I 453
Amalgam, Spiegel- I 697

Amboss II 337
Ammoniak I 638
 —, Krit. Zust. I 431*
 —, Löslichkeit i. Wasser I 400*
 —, Thermodyn. Werte I 417, 418*, 452*
 —maschine, Kälteleistung I 451*
Ampere II 857, 858
 —sches Gesetz II 870
 —sche Schwimmregel II 869
 —windung I 867
 Amplitude I 205
Amtl. Vorschriften,
 s. a. Lieferungs-
 vorschritten, Normalien.
 —, Ausführung v. Hochbau-
 Eisenbetonkonstrukt. III 267, 273, 275, 276, 277
 —, Baugrundbeanspruchg. I 527*; III 64, 230
 —, Bau u. Betrieb d. Eisen-
 bahnen III 765
 —, Beanspruchung d. Bau-
 stoffe f. Brückenbau III 76
 —, Beanspruchung d. Bau-
 stoffe b. Hochbauten I 524*; III 62*
 —, Belastung u. Eigenge-
 gewichte f. d. Hochbau III 67
 —, Belastung v. Brücken III 65, 67, 71
 —, Belastungsvorsch. f. d.
 preussischen Staats-
 bahnen III 71
 —, Belastungsvorsch. f. d.
 Schutzgebietsbahnen III 79
 —, Dampfkesselgesetze II 77
 —, Dampfkesselnietung I 776; II 27
 —, Deutsches Reichsgesetz
 betr. elektr. Maßsein-
 heiten II 858
 —, Einrichtung u. Betrieb
 v. Aufzügen II 433
 —, Einrichtung u. Betrieb
 v. Fahrstühlen II 425
 —, Eisenkonstruktions-
 nietung I 773
 —, Gesetze u. Vorsch. f.
 Städtebau III 687
 —, Kraftfahrzeuge II 823
 —, Ladegewicht f. Strafen-
 fuhrwerk III 647
 —, Landstraßenbreite III 657
 —, Leistungsversuche a.
 Dampfkesseln u. -ma-
 schinen II 103
 —, Luftschleusen III 254

Amtl. Vorschriften,
 —, Maße v. Motordroschken II 806
 —, Materialbedarf v. Mauer-
 werk III 322
 —, Material f. Landdampf-
 kessel II 85
 —, Mauerstärken III 325
 —, Normalien f. Bewertg.
 u. Prüfg. elektr. Masch.
 u. Transformat. II 914
 —, Preufs. Bestimmg. f.
 Dächer III 418—421*
 —, Preufs. Bestimmg. f.
 Decken III 408—413*
 —, Preufs. Wasserrechtl.
 Bestimmungen III 614
 —, Reinigung u. Anstrich v.
 Eisenkonstrukt. I 686
 —, Schiffselemente II 704
 —, Schutzvorrichtungen III 505
 —, Spurweite v. Strafen-
 fuhrwerk III 646
 —, Wasserdichte Schotten f.
 Personendampfer II 695, 696*, 697*, 698*
 —, Wegerecht III 683
 —, Wohnräume auf Schiffen II 699
 —, Winddruck I 369, 371; III 61, 75
Analysator, Gas- II 326
 —, harmonischer I 133
Analytische Geometrie
 d. Ebene I 90
 — d. Raumes I 115
Anemometer I 384
Aneroid III 33
Anfahrregler f. Förder-
 maschinen II 469
 —vorrichtung f. Verbund-
 lokomotiven III 916
Anhydrit I 700
Ankerbolzen I 771; II 38
 89, 92, 101
 —, Drehstrom— Gleichstrom
 — Umformer II 953*
 —, Fundament- I 771
 —, Gleichstrommasch. — Be-
 rechnung II 889, 894, 900
 —, Gleichstrommasch. —
 Vergleich verschiedener II 899
 —, Grundbau III 233
 —, Kessel- II 39, 89, 92, 101
 —kette II 709, 726
 —, Kurzschluß- II 939
 —, mit Gegenschaltg. II 943
 —, Schiffs- II 708, 726
 —, Sicherheits- (Zahnradb.) III 967, 975
 —, spill II 709* 710*
 —, Stufen- II 943
 —, Turbodynamo- II 931
 —, Umformer- II 952

Anker, Wechselstrom-
 maschinen- II 921, 931
 —wicklung II 889
 —wicklg., Aenderg. II 894
 —wicklung (Gleichstrom) II 898
 —wicklg., Schaltung II 883
 —widerstand (Gleichstrom-
 dynamo) II 897
Anlassen d. Stahles I 647
Anlaßvorrichtung f. Elek-
 tromotoren II 917, 942
 —widerstand II 917, 918, 943
Anstrengungsgrad d. Kessels
 u. d. Feuerung II 42
Anstrich I 685, 686, II 724*
Anthrazit I 475
Antifriktionskurve I 113
Antimon I 630, 633
Antrieb d. Kraft I 202
Anziehung d. Massen I 195
 A. P. B. (Dampfkesselbest.) I 776; II 6, 78
A-Polygon (Statik) III 85
Aequipotentialverbindung
 II 892
 —valente Brennweite III 11
Aräometer I 633
Arbeit, elektr. II 857, 864
 — (Erkl.) I 196
 — d. Massenpunktgruppe I 217
 —, nutzbare (Thermodyn.) I 414
 — starrer Körper I 218, 221
 —, zeichn. Darst. I 201
Arbeitertagewerk (Mauerw.)
 III 322*
Arbeitsdiagramm I 416
 —diagramm für Fabrik-
 anlagen III 472
 —einheiten, Vergleich der — I 1057*
 —festigkeit gerader Stäbe I 531
 —maschinen, Fördermittel
 für körnige Stoffe II 513
 —maschinen, Gebläse u.
 Kompressoren II 625
 —maschinen, Hebemaschi-
 nen II 352
 —maschinen, Hebewerke
 f. flüssige Körper II 596
 —maschinen, Schwebe-
 bahnen II 576
 —maschinen, Werkzeug-
 maschinen II 332
 —messung II 327
 —prozess I 413, 426
 —verlust d. Exzenter I 939
 —verlust d. Getriebe I 249
 —verlust d. Keile I 249
 —verlust d. Kurbeltriebe I 933
 —verlust d. Schrauben I 257

Arbeitsverlust d. Zapfen
u. Lager . . . I 251
—verlust d. Zugmittels I 261
—verlust durch Drosselung . . . I 473
—verlust durch Zahnreibung . . . I 259, 787
—verlust (Thermodyn.) I 414
—verlust, verhältnismäßiger I 249
—vermögen . . . I 200
—vermögen (Formänderung) . . . I 505
—vermögen d. Menschen II 1; III 322*, 791*, 792*
—vermögen d. Regler I 1018
—vermögen d. Tieres II 2*; III 651*, 793*, 794*
—zahnrad . . . I 801
Archimedische Spirale I 111
Arcus . . . I 58, 61, 66
Argandbrenner . . . II 836
Arithmetik . . . I 45
Arithmetische Reihen I 56
Armatur, Kessel- II 72, 800, III 901
Armierter Beton, s. a.
Eisenbeton . . . III 279
—es Rohr . . . I 625
Armierung, Torpedo- (Gew.) . . . II 732*
Artesischer Brunnen III 715
Artillerie, Schiffs- u. Munition (Gew.) II 731*
Asbest . . . I 698, 731
—isolation . . . I 470*
—zementschiefer . . I 705
Asphalt . . . I 685, 735
—, Guß- . . . III 675
—, Platten- . . . III 677
—, Stampf- . . . III 676
Astatischer Punkt I 1015
—Regler . . . I 1015
Astrois . . . I 110
Asymptoten . . I 94, 101
—ischer Punkt . . I 112
Asynchronmotor II 939, 979
Atelierdach . . . III 132
Aether, Elastizität I 265
Atmosphäre I 541, 412, 1057*
Atomgewicht . . I 630*
—zahl vollkommener Gase I 417, 418*
Atwoodsche Stabilitätsformel . . . II 671
Auerbrenner . . . II 836
Aufkimmung . . . II 655
Auflager . . . I 177
—druck, s. a. Flächendruck, Stützdruck I 167, 543, 564* u. figd.; II 470
—druck (Brückenb.) III 73
—druck (Brückenlager) III 1037*, 1038*, 1040*, 1042*
—druck v. Brückengerüstern . . III 1062*

Auflagerdruck f. Verbrennungsmotoren II 276
—platte . . . I 654; III 360
—quader . . . III 1044
—, Träger- . . . III 360
Aufwindung . . . III 603
Aufnehmer (Receiver) II 131, 141, 201
Aufschleppen (Schiffb.) II 691
Auftrieb . . . I 267
—v. Gasballonen I 344
Aufzug . . . II 521
—Ausführungsanweisung, betr. Einrichtung u. Betrieb von — II 433
—, Bau- . . . III 529
—, Berg- . . . II 595
—bremse . . . II 418, 427
—, Druckwasser- . . II 422
—, elektrischer . . . II 414
—, Fahrkorb . . . II 429
—, Fangvorrichtung II 416, 427
—, Gicht- . . . II 524
—, Hand- . . . II 413
—, Lasten- . . . II 414, 429
—, Paternoster- (Personen) II 433, 440
—, Personen- II 415, 428
—, Polizeivorschr. für Einrichtung u. Betrieb II 425
—Regulator . . . II 418
—, Schräg- . . . II 524, 593
—, Speise- . . . II 414
—, Steuerung . . . II 420
—, Transmissions- II 414
—, Türverschlüsse u. Sicherungen II 418, 427, 428, 429
—, zulässige Geschwindigkeit . . . II 423
Augit . . . I 698
Ausatmung u. Ausdünstung d. Menschen . . III 424
Ausbalancierte Körper I 223
Ausblasevorrichtung (Dampfkessel) II 75, 80, 803; III 903
Ausdehnung durch Wärme . . . I 391
—gefäße (Heizung) III 465
—skraft . . . I 392
—skupplung . . I 858, 859*
—rohr . . I 962, 970*, 973*;
II 203
—szahlen . . . I 391*
Ausfluchten . . . III 2
Ausfluß aus Düsen (Gas- u. Dampf) I 461; II 223
—d. Wassers a. Gefäßen od. Stauanlagen I 270, 274
—exponent von Gasen und Dämpfen . . I 460
—von Gasen u. Dämpfen I 459
—von Luft . . I 386, 463

Ausflußwirkungsgrad I 271
—zahl (Dampfdüse) I 464*;
II 225
—zahl (Hydr.) I 271, 277, 284
Ausgleichsgetriebe (Automobil) . . . II 820
—hebel (Balancier) III 914
—seil . . . III 976
—strom (Dynamom.) II 892
—ungsrechnung (Vermessungsk.) . . III 49
—vorrichtg. f. d. elektr. Spannungsverlust . . II 986
—vorrichtung (Rohr) I 962; II 203
Ausglühen . . . I 647
Ausklinksteuerung (Dampf.) II 169, 174
Auspufftemperatur . . . II 262, 263
—topf . . . II 286
Ausrückbare Kupplung I 864, 865
—vorrichtung . . . III 508
Außenbeleuchtg. II 854*
—polmaschine . . II 919
Ausweichestelle . . II 1007
Autogenes Schneiden und Schweißen I 688, 689
Automatische Bahn II 519
Automobilbau s. a. Verbrennungsmotor II 804
—, Bauliches II 819, 823
—, Bauteile . . . II 811
—, Bremse . . . II 823
—, Elektr. Motorwag. II 824
—, Fahrwiderstand II 806, 807*
—, Getriebe . . . II 818
—, Kühlung . . . II 814
—, Kupplungen . . II 817
—, Lenkung . . . II 822
—, Maschinen f. Luftfahrzeuge . . . II 816
—, Maschinen f. Motorwagen II 810
—, Maschinen für Wasserfahrzeuge . . II 815
—, Motorfahrzeuge, Fahrzeugmaschinen II 804
—, Steuerung . . . II 811
—, Vergaser . . . II 808
—, Zündvorrichtung II 809
Autotransformator . . II 947
Avogadro'sches Gesetz I 416
Axonometrisches Verfahren I 142
Azetylen . . . II 838
—schweißung . . I 688
—, spez. Gew. . . I 638
—, Verbrennung . . I 493*, 494*
A. Z. L. . . . III 423
Azyklische Dynamomasch. II 889

B.
 Babcock u. Wilcox-Kessel II 799*
 Bach-Schüle, Gesetz v. I 503
 Baderaum II 713; III 511
Baggerarbeiten III 228, 513
 —, Eimerketten- . . . III 513, 515*, 516, 519
 —, Eimerkettentrocken- II 555, 559* III 519
 —, Fluß- . . . III 516
 —, Greif- . . . III 513
 —, Löffel- . . . III 513, 519
 —, Nafs- . . . III 513
 —, Saug- II 563; III 515, 516
 —, Schacht- . . . III 517
 —, See- . . . III 515
 —, Trocken- . . . III 519
Bahn s. a. Eisenbahn II 515
 —, automatische . . . II 519
 —, Bremsberg- . . . II 519
 —, damm . . . III 786
 —, druck . . . I 211
 —, en mit gezahnter Mittelschiene . . . III 951
 —, en mit glatter Mittelschiene . . . III 951
 —, Gefälle- . . . III 518
 —, gleislose . . . II 515
 —, Gleis- . . . II 516
 —, Hänge- . . . II 521
 —, Kabel- . . . II 518
 —, Ketten- . . . II 516, 518
 —, motor . . . II 1019, 1020*, 1024, 1026
 —, räum- . . . III 914
 —, schmalspurig- . . . II 516
 —, Schweb- . . . II 576
 —, Schwerkraft- . . . II 519
 —, Seil- . . . II 516, 521
 —, steig . . . III 836
 —, Verlade- . . . II 532
 —, widerstand . . . I 210
Bahnhofsanlagen III 832
 —, Abstellanlagen, III 840
 —, Anlagen für Personenverkehr . . . III 836
 —, Bahnsteige . . . III 836
 —, Beleuchtung . . . II 855
 —, Betriebswerkstätten III 869*
 —, Drehscheiben . . . III 842
 —, Empfangsgebäude III 836
 —, Gleisanordnung, Gleisverbindung, III 835
 —, Gliederg. d. Anlg., Uebersicht u. Anwendg. der Grundformen . . . III 832
 —, Güterverkehrseinrichtungen . . . III 837
 —, Hilfszüge . . . III 870
 —, Kohlenversorgg. III 860
 —, Längen-, Richtungs-, Neigungsverhältn. III 833
 —, Lokomotivschupp. III 862

Bahnhofsanlagen,
 Schiebebühnen III 850
 —, Verschiebeanlag. III 840
 —, Wägenrichtung. III 869
 —, Wagenschuppen III 867
 —, Wagensumsetzungseinrichtungen . . . III 869
 —, Wasserversorgg. III 854
 Balancier, Lokomot. III 914
 Balatariemen . . . I 824
Balkenaufleger . . . III 360
 —, brücke, Eisenbet. III 307
 —, bucht . . . II 655, 666
 —, lage, Aml. Gewicht III 57
 —, lage, Eigengew. III 408*
 —, stärken I 741*, 742*; III 339
 —, einfacher, Biegemomente u. Querkkräfte (graph. Stat.) . . . I 184
 —, einf., Elast. Gew. vollwandiger . . . III 198
 —, einfacher, Querkkräfte u. Biegemom. . . III 83
 —, einfacher, Spannkkräfte im . . . III 87
 —, einfacher, Verwertung der M_z -Linie . . . III 101
 —, einfacher, vollwandiger III 138
 —, verdübelte u. verzahnte III 343
Balken auf mehreren Stützen . . . III 146
 —, Anal. Ermittl. d. Festpunkte . . . III 148
 —, Balken auf 4 u. 5 Stützen III 164
 —, Einflußlinie für d. Biegemomente III 153
 —, Einflußlinien für die Stützendrücke III 156
 —, Einflußlinien d. Stützenmomente . . . III 151
 —, Einflußlinien für die Querkkräfte . . . III 155
 —, Einfluß d. Temperatur III 150, 167
 —, Fachwerkbalken auf 3 Stützen . . . III 166
 —, Gleichf. belast. Balken auf 3 u. 4 Stützen III 157, 158*
 —, ω -Tabelle . . . III 152*
 —, Parabelförmige Einflußlinien . . . III 142
 —, Parabelförm. Einflußlinien f. d. kontinuierl. Balken unveränderl. Querschnitts . . . III 157
 —, 7-Momente . . . III 150
 —, Vollwandige Träger auf 3 Stützen . . . III 160
 —, Wirkung bewegl. Einzellasten . . . III 150

Balkenträger . . . I 611
Ballastteilung . . . II 791
 —, pumpe . . . II 788
 —, Schiffs- . . . II 732
Ballon, Gas-, Auftrieb u. Gleichgewicht I 344
 —, Gas-, statische Stabilität I 346
Bandbremse . . . I 903, 904
 —, eisen . . . I 655
 —, säge . . . II 377
Barometer . . . III 33
 —, Aneroid- . . . II 321
 —, Metall- . . . III 33
 —, Quecksilber- . . . II 321
 —, stand . . . I 342
 —, stand, mittlerer . . . I 412*
Basalt . . . I 518, 698
Basismessung (Triangulation) . . . III 48
Batterie, Akkumulatoren- s. a. dort II 881, 957
 —, Akkumulatorwagen- II 824, 1018; III 924
Baublock . . . III 688
 —, grube, Einschießung, Abdämmung, Trockenlegung . . . III 231
 —, holz I 741*, 742*, 743; III 339
 —, konstruktionen, Statik der s. unter Statik d. Bauk. . . . III 56
 —, plan . . . III 687
 —, winden . . . III 525
Baugrund, Berechnung v. Bohlwerken u. Verankerungen . . . III 232
 —, Tragfähigkeit III 226, 229
 —, zulässige Beanspruchung I 527*; III 64, 230
Baumaschinen, Bagger III 513
 —, Beseitigung d. Baggerbodens . . . III 517
 —, Grundsägen . . . III 523
 —, Hebemaschinen III 525
 —, Mörtelmischmaschinen III 523
 —, Pumpen . . . III 530
 —, Rammen u. Hilfsmaschinen . . . III 519
 —, Rammen mittels Wasserspülung . . . III 522
 Baumé . . . I 638
Baumpflanzung a. Landstraßen III 658, 685
 —, a. städt. Straßen III 694
Baumwollriemen I 823
 —, seilbetrieb . . . I 834*
 —, Berechnung . . . I 839
Baustoffe, Eigengewichte III 59
 —, Festigkeitssz. I 513—526*
 —, i. Flußbau . . . III 541

Baustoffe, zulässige Beanspruchung 1526*; III 62
 Beales Kegelraderfräsmaschine . . . II 374
Beanspruchung, zulässige f. Brücken III 76, 81
 —, zulässige für d. Maschinenbau . . . I 522
 —, zulässige — v. Baustoffen f. d. Hochbau I 524*, 526*; III 62
Beaufort-(Wind)-Skala . . II 684
 Bebauungsarten . . . III 687
 Becherkette, — kabel, — werk . . II 548, 552
 Becken, Klär- . . . III 716
 Bedingte Beobachtung (Vermessungsk.) . . III 53
 Beförderungsdauer v. Postsendungen . . I 1059*
Behälter, s. a. Becken, Hochbehälter, Lagermittel, Wasserturm.
 —, Eisenbeton- III 304, 729
 —, gemauerte . . . III 722
 —, niertung . . . I 780
 —, Stampfbeton- . . III 724
 —, Wasser- . . III 722, 857
 —turm mit Eisenbottich . . III 726
 Beharrungsregler . . I 1019
 Belagelsen . . I 655, 662*
Belastung v. Brücken . . III 65
 — v. eisern. Brücken III 65
 — v. gewölbten Brücken . . III 65
 —sgleichwerte (Brückenbau) . . III 72
 —svorschriften, amtl. . . III 71, 79, 81, 82
 —, zulässige d. Baugrundes I 527*; III 64, 230
 Belebte Motoren . . II 1, 2*
Beleuchtung . . . II 826
 —, Außen- . . . II 854*
 —, Bahnhof- . . II 855
 —, Beleuchtungsarten s. a. dort . . . II 834
 —, Berechnung . . II 851
 —, Berechnung v. Lichtstärken u. Beleuchtung . . II 831
 —, Eisenbahnwagen II 854; III 934
 —, Gleis- . . II 855, 856*
 —, indirekte . . II 833, 853
 —, Innen- . . . II 852*
 —, Kohlensäureausscheidung . . . III 424
 —, Lichtmessung . . II 830
 —, Messung von Licht- u. Beleuchtungsstärken, Photometrische Einheiten II 827*, 828, 829*

Beleuchtung, Physikalische Grundlagen II 826
 —, Wärmeabgabe III 423*
 —, Wärme-, Kohlensäureentwicklung d. Lichtquellen, Luftbedarf . . II 850*
 —, Lichtstärke, Farbe verschiedener Lichtquellen . . II 850*
 —, Wahl u. Berechnung . . II 849
Beleuchtungsanlagen.
 Allgemeines üb. Wahl u. Berechnung d. Beleuchtg. . II 849, 850*, 851
 —, Brennzeiten . . II 856*
 —, Entwerfen v. . . II 849
 —, Erforderliche Beleuchtungs- u. Lichtstärke . . II 852*, 854*
 —, Gasverbrauch, Strombedarf verschiedener Lichtquellen . . II 852*
 —, Reflektoren, Glocken . . II 849*
 —, Wirtschaftlichk. II 850
Beleuchtungsarten, Elektrische Bogenlampen mit Kohlelektroden . . II 842
 —, Elektrische Bogenlampen mit Metall- elektroden . . II 847
 —, Elektrische Glühlampen . . II 839
 —, Elektrische Quecksilberdampflampen . . II 847
 —, Elektrisches Moorelicht . . II 848
 —, Lampen f. flüssige Brennstoffe . . II 834, 835
 —, Lampen f. gasförm. Brennstoffe . . II 836
Belichtung . . . II 828
 —, Fabrik- . . . III 478
 Belleville-Kessel II 796, 799*
 Benoidgas . . . II 838
Benzin . . I 479; II 252
 —, Heizwert, Luftbedarf . . II 251
 —, thermodyn. Werte I 498
 —motor . . . II 267*
Benzol, Heizwert, Luftbedarf . . II 251, 252
 —, thermodyn. Werte I 498*
Beobachtungsfehler . . III 49
 —, Theorie der —, s. a. Fehler . . I 85, 86
 Bergaufzug . . . II 595
 Berieselung . . . III 609
 Berme . . . III 787
 Bernoullische Zahlen . I 80
 Berührung von Kurven I 94
 Beschickungsseilbahn II 593

Beschleunigung . . I 145
 —, Coriolis- . . . I 154
 —, Fall- . . . I 164
 —, Normal- . . . I 148
 —, Winkel- . . . I 149
 —, Tangential- . . I 148
 —, Zusammensetzung d. —en . . I 152
 —, Zusatz- . . . I 152
 —arbeit bewegter starrer Körper . . . I 221
 —sdruck (Kolben) . . I 931
 —skraft . . . I 215
 —spol . . . I 162
 —szustand . . . I 161
 Bessels Rotationsellipsoid . . III 1
 Bessemergebläse . . II 639
Beton s. a. Eisenbetonbau . . I 718
 —behälter . . . III 724
 —brunnen . . . III 247
 —, Eisen- s. a. dort . I 722
 —, Festigkeitsz. I 518, 519*, 520*
 —, Gewichte I 723*; III 59
 —, Grundbau unter Wasser . . III 239
 —mauerwerk . . . III 320
 —mischmaschine . . III 523
 —, Stampf- . . . I 720
 —, Zuläss. Spanng. I 526, 527
Bettung, Eisenbahn- . . III 786, 814
 —, Zahnradbahn- . . III 957
Bewässerung, Fabrik- . . I 314; III 502
 —, landwirtschaftl. III 608
Bewegung a. vorgeschriebener Bahnlinie I 211
 — auf vorgeschriebener Führungsfläche I 212
 —, beschleunigte . . I 146
 —, Dreh- . . I 149, 208, 209
 —, ebene . . . I 159
 —, Elementar- . . I 154
 —, Fahrzeug- . . . I 153
 —, freie geradlinige Massenpunkt- . . I 204
 —, freie krummlinige Massenpunkt- . . I 208
 —, geradlinige Punkt- I 144
 —, gleichförmige . . I 146
 —, komplane . . . I 163
 —, kräftefreie . . . I 162
 —, kreisende . . . I 149
 —, krummlinige Punkt- . . I 147
 —, Massenpunktgruppen- infolge Kraftwirkg. I 214
 —, Mittel- . . . I 150
 —, periodische . . I 147
 —, Prinzip der Schwerpunkt- . . . I 217
 —, projizierte . . . I 149
 —, Relativ- . . I 153, 214

Bewegung, sphärische

- I 155
- starrer Körper . . . I 154, 218, 220
- , umgekehrte . . . I 160
- , unfreie Massenpunkt- . . . I 210
- , unfreie Massenpunktgruppen- . . . I 215
- , Wasser- in Flussskrümmungen . . . III 536
- , zusammengesetzte I 214
- , Zusammensetzung der
 - en I 150
- sdreieck I 155
- sgleichungen des starren Körpers I 221
- sgröÙe I 201
- slehre, geometrische I 144

Bewegungswiderstand

- v. Drehscheiben III 848
- v. Eisenbahnen III 768
- v. Schiebebühnen III 853
- v. Schiffen I 323; II 741
- v. Schleusentoren III 588
- v. Seilbahnen III 971, 979
- v. Straßensfuhrwerk . . . III 649
- v. Zahnradbahnen . . . III 967

Bewegung wirklicher Flüssigkeiten, Strömung an eingetauchten Körpern

- I 364
- , Strömung in Leitungen I 362
- , Unstetigkeits- (Diskontinuitäts-)flächen I 362
- , Zähigkeit, innere Reibung I 361

Beyer-Regler . . . I 1027

Biegemaschine . . . II 341

— same Rohr . . . I 978*

— same Welle . . . I 855

Biegung u. Drehung I 605*— u. Drehung, Werte $\xi = 0,35$

$$+ 0,65 \sqrt{1 + \left(\frac{\alpha_0 \cdot M_d}{M} \right)^2}$$

- I 605*—607*
- u. Schub I 604
- u. Zug (Druck) I 592
- sarbeit I 550
- sbeanspruchung, zulässige I 528*, 524*; III 62
- druckfestigkeit . . . III 278
- feder I 613
- fester Stab III 135
- linie III 124, 128
- linie d. stetig gekrümmten Bogens III 137
- spannung I 541
- spannung, Momentenebene geht durch die Hauptachse d. Querschn. I 542

Biegungsspannung, Biegebige Momentenebene (Unsymmetrische Belastung) I 545

— zugfestigkeit (Eisenbeton) III 279

Biegungsfestigkeit

- I 506, 540
- , Äußere Kräfte gerader Träger I 540
- , Beispiele f. d. Berechnung auf Biegung beanspr. Träger . . . I 578
- , Elast. Formänderung gerader Träger . . . I 549
- , gerader Stäbe . . . I 540
- , Querschnittmittlung f. Walzträger mit Rücksicht auf Durchbiegung I 577
- , Spannungen I 541
- , Träger a. mehreren Stützen I 585
- , Träger mit unveränderlichem Querschnitt I 564*
- , Träger von gleichem Widerst. gegen Biegung I 580, 581*
- , Träger von kleinstem Biegunswinkel a. Ende u. von kleinster Durchbiegung I 584*
- , Trägheits- und Widerstandsmomente I 551, 552* u. f.

Biegungsmoment I 183,

540, 564* u. folg.

— gerader Träger . . . I 540

— im einfach. Balken III 83

— von Eisenbahnbrücken III 71, 72*, 73*, 79, 80*

— von Schiffen . . . II 736

Biehnsche Grundwasserabdichtung . . . I 784**Bilgrams Kegelraderhobelmaschine** II 373**Bimsbetondach** . . . III 478

— stein I 700

Bindemittel, Festigkeitszahlen I 518***Binder, s. a. Brücken- u. Dachkonstr., Dächer.**

—, Dach-, s. a. dort III 374, 377

—, Dach- mit 3 fachem Hängewerk III 199

—, Dreigelenk- III 886

—, Hallen- III 352, 880

—, Holz- III 845

—, Polonceau- III 106, 398

—, Zweigelenk- III 106, 388

Bischofmütze (Turmhelm) III 396**Binomialkoeffizienten** I 43*, 45**Binomischer Satz** . . . I 45**Binormale** I 119**Blech** . . . I 676*, 677*, 678

—, Brückenbau- . . . III 987

—, kantenhobelmaschine . . . II 358

—, Kessel-, Materialvorschriften II 85, 94

—, Kessel-, Ueberpreisliste f. Grobbleche, Böden usw. II 114

—, Kupfer- I 692

—, lehre, Fein- I 642*, 690*

—, schere II 343

—, schornstein II 64

—, Steh-, s. dort.

—, träger . . . I 531; III 988

—, verzinkt, verbleit, verkupfert, vernickelt I 679

—, Zink- I 690, 691*

Blei . . . I 630, 633, 693

—, Amtl. Gewicht III 60

—, draht I 693*

—, Festigkeitsz. I 517, 521

—, platte, Gewicht . . . I 641*

—, rohr I 981*

—, rohr, Normalien f. Abflusrohr I 982

B-Linie (Statik) . . . III 95**Blitzableiter** II 976**Blockkran** II 508*, 509*, 512**Blondin** II 532**Bobine** II 450

—, fördermaschine. II 1030

Bodenauflockerg. III 790*

—, druck des Getreides . . . II 568, 569*

—, durchlässigkeit, s. a. Versickerung I 314; III 709

—, filtration III 762

—, speicher II 564

Bogenabsteckung . . . III 40

—, Bestimmung d. —elemente b. Abstecken . . . III 45

—, differential I 93, 119

—, höhe, Kreis- I 36*

—, lampe II 842, 855*

—, lampe, Stromverbrauch . . . II 852*

—, länge (Gleichg.) I 97

—, länge, Kreis- I 36*, 38*

—, Schwerpunkt I 191

—, träger, Dreigelenkbogen . . . III 111

—, träger, Elastisches Gewicht für d. vollwandigen III 137

—, träger, Holz- III 352

—, träger, vollwand. III 1013

—, träger, Zweigelenk- III 141

Bohlenrost III 238

—, wand III 231

—, werk, Berechnung III 232

Bohrer II 348

—, maschinen II 361

Bohrmaschine, Holz- II 382
 —rohr I 968
 —widerstand II 348
Boot II 714, 716*
 —, Gewicht II 728*
 —sdavit II 717
Böschung III 535*, 604, 658
 —, Bahndamm- III 788
 —, Graben- III 787
 —smesser III 3
 —, Standfestigkeit III 535*
 —swinkel II 514, 560; III
 201*, 535*, 604, 787, 788
 Boylesches Gesetz I 416
 Brandmauer III 827
 Brauchwassermenge III 736
 Brauerarbeitsdiagramm
 III 472
Brauersches Dynamometer II 328
 — Wassermeißverfahren
 I 340
Braunkohle, Heizwert
 I 475
 —, Wärmeverlust durch d.
 Verbrennungsgase I 487*
 Breccie I 700
 Bremse-Umsteuerung II 192
Bremsbandlastdruck-
bremse II 403
 —band, Reibung I 262
 —bergförderung II 519
 —dynamometer II 327
 —gestänge (Eisenb.) III 879
 —klotz III 877
 —kraft (Brückenb.) III 1060
 —lüftmagnet II 398*, 404*
 —lüftmotor II 398
 —scheibe II 328
 —verband (Brückenb.)
 III 1049
 —weg III 885
Bremse I 246, 247, 901
 —, Automobil- II 823
 —, Band- I 903, 904
 —, Beckersche Schnecken-
 Lastdruck- II 383, 402
 —, Eisenbahn- s. a. dort
 III 877
 —, elektr., Fördermasch.
 II 1038
 —, elektrische, Zahnradb.
 III 966
 —, Fall- II 418
 —, Fördermaschinen- II 465
 —, f. Dampfhebmäschinen
 II 390
 — für elektr. Hebmäsch.
 II 394
 — f. Hebmäsch. II 388
 —, Grubenbahn- III 971
 —, Hebezug- II 383
 —, Kegel- I 905
 —, Klotz- I 901, 902
 —, Lastdruck- II 383, 401
 —, Lokomotiv- III 915

Bremse, Magnet- II 397
 —, Scheiben- I 905
 —, Senk- II 395
 —, Sperrad- I 908
 —, Stopp- II 395
 —, Straßenbahn- II 1022
 —, Wasser- II 328
 —, Westonsche Gewinde-
 Lastdruck- II 384, 402
 —, Windhoffsche Schräg-
 zahn-Lastdr. II 384, 402
 —, Zahnradbahn- III 966
 —, Zahnrad- (Vergnügungs-
 bahn) III 977
 —, Zangen- (Seilb.) III 978
Brennerarten II 836
 —punkt I 98; III 11
 —weite III 11
 —zeiten II 856*
Brennstoffe I 474
 —, Eigenschaften der Motor-
 II 248, 250, 251*
 —, flüssige II 793
 —, flüssige, Feuerung II 49,
 793
 —, flüssige, thermodyn.
 Werte I 498*, 499*
 —, gasförmige u. flüssige
 I 489
 —verbrauch d. Motoren
 II 250*, 251*
Brikett, Heizwert I 479
Britanniametall I 697
Brixsche Formel, Tragfähig-
keit v. Pfählen III 226
Bronze I 694, 695
 —, Amtl. Gewicht III 60
 —draht I 521*, 695
 —, Festigkeitszahlen
 I 514*, 515*, 521*
 —platte, Gewicht I 641*
 —rohr I 969, 971*
Brown, Boveri-Parsons-
Turbine II 287
 —sche Umsteuerung II 193
Bruchsisicherheit I 513
 —spannung I 504
 —steinmauerwerk III 320
 —, unbestimmte Form
 eines I 69
Brüche, imaginäre I 71
 —, reelle I 71
 —, Wurzeln einiger I 43*
 —, Zerlegung rationaler I 70
Brücke s. a. Straßenbrücke,
 Eisenbahnbrücke, Fuß-
 gängerbrücke, Brücken-
 und Dachkonstruktion,
 Brückenbau, Eiserne
 Brücke.
 —, Eisenbeton- III 307
 —, Eisenbetonbogen- III 312
 —, eiserne, Balken-Momente
 und Querkräfte für den
 Lastenzug III 72*, 73*,
 80*, 81*

Brücke, eiserne, Brems-
kraft III 75
 —, eiserne, Eigengewicht
 III 65, 66, 68, 70
 —, eiserne, Fliehkraft III 75
 —, eiserne, Niekung I 780
 —, eiserne, Verkehrslasten
 III 67, 71, 79, 81, 82
 —, eiserne, Wärmeschwan-
 kungen III 76, 81
 —, eiserne, Winddruck
 III 75
 —, eiserne, Zulässige Bean-
 spruchungen III 76, 81
 —, Fachwerk-Eisenbeton-
 III 311
 —, Gelenk-Wölb- III 316
 —, gewölbte III 1094*-1096*
 —, gewölbte, Belastung
 III 65
 —, gewölbte, Eigengewicht
 III 65
 —, gewölbte, Verkehrslasten
 III 65
 —, Kanal- III 573, 574
 —breite III 981, 1057, 1073
 —nlager, Balken- III 1033
 —nlager, bewegliches
 III 1040
 —nquerträger III 1062*,
 1063*
 —nwage (Mechanik) I 176
 —, Verlade- III 312
 —, vollwandige Eisenbeton-
 III 307
Brückenbau, Allgemeines
 III 980
 —, Eisenbahnbrücken s. dort
 III 1054
 —, Eiserne Brücken s. dort
 III 983
 —, Gewichtsberechnungen
 III 1086
 —, Pfeiler u. Widerlager
 III 1089
 —, Spannweite, Bauwerks-
 länge (Wirtschaftlich.)
 III 981
 —, Straßenbrücken s. dort
 III 1073
 —, Wahl d. Baustoffes
 III 981
Brückenkran II 478, 581
 —, Kranfahrwerk II 482
 —, Kranträger II 481
 —, Laufwinde II 478
Brücken- u. Dachkon-
struktionen, s. a. Bal-
kenbrücke, Brückenbau,
Dächer, Eisenbahnbrücke,
Eiserne Brücke, Eisen-
betonbau, Fachwerkträger,
Träger, Tragwerk III 83
 —, Besondere Fälle, Gleich-
 förmige Belastung
 III 102

Brücken- u. Dachkonstruktionen, Dreieckbinder . . . III 108
 —, Dreieckbogen III 111
 —, Einfacher Balken III 83
 —, Englischer Dachbinder III 108
 —, Gerberbalken . . . III 97, 1010, 1017
 —, Kranträger I 571; II 475, 481; III 110
 —, Parabelträger . . . III 103, 378, 1035
 —, Parallelträger III 78, 102
 —, Paulträger . . . III 105
 —, Polonceau-Dachbinder III 106, 398
 —, Schwedlerträger III 105
 —, Schielträger III 106, 170
 —, Versteifte Kette III 115
 —, Verwertung d. M_x -Linie des einfachen Balkens III 101
 —, Zelt-dächer III 109, 349, 395
Brunnen . . . III 235, 708
 —, Abessynier . . . III 715
 —, artesischer . . . III 715
 —, Beton- . . . III 247, 713
 —, eiserne Schacht- III 713
 —, gründung . . . III 246
 —, Kessel- . . . III 712
 —, Rohr- . . . III 713
 —, schlinge . . . III 247
 —, Senk- . . . III 247, 249
 —, stat. Untersuch. III 249
 —, stube . . . III 707
 —, Tief- . . . III 714
 B T U (Britische Wärmeinheit) . . . I 393
 Buckelplatte I 677; III 1060, 1075
 Bühne . . . III 539
 Bulbeisendecke . . . III 414
 Bunsenbrenner . . . I 488
 Bürgerlicher Druck (Wasservers.) . . . III 702
Bürste, Dynamomaschine II 907, 908
 —nkupplung . . . I 864
 Bussolininstrumente III 16

C.
 Cailliet- u. Mathiassche Versuche (Schweflige Säure) . . . I 451*
 Caisson . . . III 251
Cardangetriebe . . . II 820
 —isches Problem . . . I 160
 Carnotscher Kreisprozess I 426
Castiglianoscher Satz, Beispiele . . . III 182
 —s Prinzip d. kleinst. Formänderungsarbeit III 189
 Celsius-Thermometer I 388

C-G-S-System I 144, 166; II 857
 C: H (Lokomotive) III 890*
Charakteristik d. Gleichstr.-Dynamomasch. II 886
 — d. Logarithm. . . I 48
 — d. Regler . . . I 1020
 — d. Wechselstrommaschine (Kurzschluss) . . . II 926
 —, Leerlauf. II 926, 928*
Chemische Elemente u. Verbindungen. I 630*
 — Formeln . . . I 630*
 Chromsilicium - Federstahl, Festigkeitszahlen I 512*
 C-Kurve (Regler) . . I 1020
Clapeyronsche Gleichung (Biegemoment) . . . I 585
 — (gesätt. Dampf) . . I 433
 — (Statik) . . . III 147
 Clausiussscher Satz I 413
 Collmannsteuerung II 171, 173, 175
Compounddraht . . I 695
 — masch. s. a. Verbundmasch. — verzahnung . . . I 812
Coriolisbeschleunigung — kraft . . . I 154
 — I 214
Corlifsscheber II 149, 159, 197
 —steuerung . . . II 177
Cosinus . . . I 26*, 58, 60
 —, arc cos . . . I 61, 66
 —, \arccos . . . I 66
 —, hyperb. I 31*, 33*, 65
Cotangens . . . I 28*, 58
 —, arc ctg . . . I 61, 66
 —, arctg . . . I 66
 —, hyperb. . . . I 65
Coulomb . . . II 857
 —sche Erddrucktheorie III 200
Cremonascher Kräfteplan . . I 186; III 94
 — für $A = 1$ (Spannkraften in einfachen Fachwerkbalken) . . . III 94
Culmannsche E-Linie (Erddruck) . . III 201
 —, K-Linie (Erddr.) III 202
 —s Verfahren (Kräfteermittlung) . . . I 187
 —s Verfahren (Spannkraftermittlung) . . . III 93
 Curtis-Turbine . . . II 241
 C W L (Konstrukt.-Wasserlinie) . . II 654, 655, 669

D.
Dachbelastung III 58, 61, 373
 —eindeckung . . . III 415
 —neigung . . . III 422*
 —pappe . . . I 733

Dachreiter . . . III 395
 —verband, Eigengewichte III 358
 —ziegel . . . I 708
Dachbinder s. a. Binder, Dreieck- . . . III 108
 —, englischer . . . III 108
 — mit 3iachem Hängewerk III 199
 —, Polonceau- III 106, 398
Dächer, Atelier- III 182
 —, Belastung . . . III 58, 61
 —, Dachverbände . . III 344
 —, Eisenbeton- . . . III 300
 —, Eiserne Kuppeln III 390
 —, Fabrik- . . . III 476
 —, Glas- . . . III 421
 —, Hallenbinder . . . III 352
 —, Holzzement- III 420, 422
 —, Kehlbalcken- . . . III 199
 —, Krag- . . . III 379
 —, Kronen- . . . III 418, 422
 —, Kupfer- . . . III 419, 422
 —, Kuppel- . . . III 188, 349
 —, Mansard- . . . III 348
 —, Mönch- u. Nonnen- III 418, 422
 —, Papp- . . . III 420, 422
 —, Pfannen- . . . III 419, 422
 —, Pfetten- . . . III 198, 345
 —, Pult- . . . III 348
 —, Rahmen- . . . III 389
 —, Rohr- . . . III 420
 —, Sägen- (Shed-) . . III 348
 —, Sattel- . . . III 345
 —, Schiefer- . . . III 419, 422
 —, Schindel- . . . III 421
 —, Sparren- . . . III 345
 —, Stroh- . . . III 420
 —, Turm- . . . III 349
 —, Walm- . . . III 348
 —, Wellblech- III 419, 422
 —, Zelt- III 109, 349, 395
 —, Ziegel- . . . III 418, 422
 —, Zink- . . . III 419, 422
Dachkonstruktionen, s. a. Brücken- u. Dachkonstr.
 — Binderanordnung III 377
 —, Pfetten . . . III 373
 —, Stabquerschnitte III 375
 —, Tragwerke . . . III 374
D'Alembertsches Prinzip I 214
Daltonsches Gasmischungsgesetz . . . I 420
Dammerde . . . I 701
Dampfausfluß I 459, 460, 464
 —, Ausfluß aus Düsen I 461, 465; II 223
 —diagramm I 444; II 185
 —diagr., Ueberdruck- I 1004
 —dichte . . . I 434*, 436*
 —drosselung I 471; II 117
 —druckpumpe . . . II 597
 —düse . . . I 461; II 224

Dampfgeschwindigkeit in

Rohrleitungen. I 467

— geschwindigkeit i. Steue-

rungskanälen II 148, 769

— hammer . . . II 837

— haspel II 442, 443, 444*

— kabel . . . II 442, 444*

— kanal . . . II 143, 149

— kran, Schiffs- . . II 711*

— lässigkeit . . . II 119

— leitung . . . I 466

— leitung, Dampfmasch.-Zu-

II 203, 790

— —, Normalien I 974, 976*

— —, Wärmeersparnis

durch Umhüllung I 471*

— messer . . . II 325

—, nasser . . . I 431

— pfeife . . . III 902

— ramme . . . III 520, 521*

— strahlgebläse . . II 653

— strahlpumpe . . II 598

— strömung I 458; II 223

— tafeln I 432*, 434 438*

—, trockener . . . I 442

— überhitzer . . . II 25, 794

—, überhitzter I 440, 469;

III 39, 141

— u. Wärmeersparnis durch

Umhüllung v. Leitungen

I 471*

— verbrauch d. Dampfmasch.

II 134, 138, 147

— verbrauch d. verlustfreien

Dampfmasch. . I 442

— verbrauch, nutzbarer

II 119, 121*, 128*, 129*

— verbrauch, reduzierter d.

Dampfmasch. . I 443

— walze . . . III 67, 665*

— warmwasserheizung

III 454

— wasserheizung . . III 455

—, Wasser-, thermodyn.

Werte . . I 417, 418*

— zylinder . . I 955; II 194,

199, 470, 770

— zylinder, Lokomotiv-

III 906

Dämpfe, Allgemeines I 430

—, Besondere Zustandsän-

derungen (Expansions-

kurven) . . . I 439

—, Bewegung in Rohrlei-

tungen . . I 466, 469

—, Drosselung . . . I 472

—, Druck d. gesätt. Wasser-

dampfes . . . I 432*

—, kritischer Zustand I 431

—, Nasser Dampf . . I 431

—, spez. Gew. . . I 638*

—, Strömung . . . I 458

—, Theorie der Dampfma-

schine . . . I 442

—, Theorie der Kältema-

schine . . . I 446

Dämpfe, Ueberhitzer

Dampf . . . I 440

—, Zähigkeit I 400, 401*

Dampfheizung III 451,

—, Eisenbahn . . . III 903

—, Fern- . . . III 462

—, in Verbindung mit Kraft-

betrieben . . . III 458

Dampfkessel, s. a. Kessel,

Lokomotivk. . . II 6

—, Absperrventil II 74, 80,

800

—, Allgemeines . . . II 6

—, Anstrengungsgrad II 42

—, (A. P. B.) Allgemeine Po-

lizeiliche Bestimmungen

II 27

—, Armatur, II 72, 80, 800;

III 901

—, Arten . . . II 7

—, Aufstellungsort II 7, 83

—, Ausblasevorrichtung

II 75, 80

—, Ausrüstung II 72, 80, 800;

III 901

—, Bauvorschriften f. Land-

dampf. . . II 94

—, Bestimmung der Wärme-

verluste . . . II 110

—, Blechdickenberechnung

II 94

—, Blechstärken II 27, 28*

—, Brennstoffverbrauch

II 42, 793

—, Dampfdom II 6, III 899

—, Dampfraum . . . II 6*

—, Doppelkessel . . II 10

—, Einfammrohrkessel

II 7*, 8

—, Einmauerung II 49, 84

—, Feuerbüchse . . II 102

—, Feuergeschränk II 44

—, Feuerung . . II 40, 795

—, Feuerungsarten II 46

—, Feuerzüge . . II 52, 79

—, Flammrohrkessel II 6, 8

—, für Eisenbahntriebwagen

III 922

—, Gewicht . . . II 7

—, Gewichte der Schiffs-

kesselanl. II 802*, 803

—, Großwasserraumkessel

II 7, 8*

—, Heizfläche II 41, 43*, 65,

792; III 445

—, Heizkanäle, Fuchs II 52

—, Heizrohrkessel II 12*, 98

—, Heizungskessel III 445,

451, 462, 464

—, Innenfeuerung II 13

—, Kesselmantel . . II 28*

—, Kesselwandung II 79

—, Kleinkessel II 23, 84;

III 922

—, Konstruktion II 27, 795

Dampfkessel, Konstruk-

tionseinzelheiten II 36

—, Künstlicher Zug (Schiffs-

kessel) . . . II 793

—, Lagerung . . . II 49

—, Leistung (Schiffsk.)

II 792*

—, Manometer . . . II 77

—, Materialvorschr. II 85

—, Nietung . . I 775; II 27,

28*, 89, 92, 94

—, Nietungstafeln

II 34*, 35*

—, Normen f. Leistungsver-

suche an — u. Dampf-

maschinen . . . II 103

—, Oberkessel . . . II 15

—, Prüfung . . . II 82, 85

—, Rauchkammer (Loko-

motiv-) . . . III 900

—, Rauchverhütung II 43

—, Reichsgesetzl. Bestim-

mungen üb. Anlegung

u. Betrieb v. Dampf. k.

II 77

—, Rostfläche II 42, 43, 792*

—, Roststäbe . . . II 45, 803

—, Schiffs- . . . II 791

—, Schornstein . . . II 53

—, Schornstein (Lokomot.)

III 900

—, Schornstein, Rauchfang

(Schiffsk.) . . . II 803

—, Schrauben u. Verschrau-

bungen . . II 100, 101*

—, Schweifung II 36, 94

—, Sicherheitsventil I 465;

II 72, 81, 800*; III 902

—, Siederohr I 966*; II 89,

93, 795

—, Siederohrkessel II 15*

—, Speiseraum . . . II 7

—, Speiseventil und -Rohr

II 75, 80, 800

—, Speisevorrichtungen

II 65, 80, 800; III 901

—, Speisewasser . . III 855

—, Speisewasserreinigung

II 68

—, Speisewasservorwärmer

II 65

—, Ueberhitzer . . II 25, 794

—, Unterfeuerung . . II 12

—, Verankerung II 39, 52,

89, 92, 101

—, Verbindung der Kessel-

teile . . . II 27, 36

—, Verbrennung . . II 43

—, Verdampfung II 42, 793

—, Verdampfungsversuche

II 111

—, Verstärkungen . . II 38

—, Wahl d. Nietverbindung

II 32

—, Wandstärke . . . II 33

—, Wasserkammer II 15

Dampfkessel, Wasser-
 -raum II 6*
 -, Wasserrohrkessel II 15*,
 796
 -, Wasserstandzeiger
 II 76, 80, 81, 800; III 902
 -, Weillrohrkessel . . II 9
 -, Wirkungsgrad . . II 42
 -, Zubehör II 72
 -, Zugregler II 46
 -, Zweifeldrohrkessel
 II 6*, 8, 9
 -, Zylinder-Schiffskessel
 II 795, 797*
Dampfmaschine, s. a.
Schiffsmaschinenbau
 II 116, 760
 -, Analytische Berechnung
 II 116, 130, 760
 -, Arbeitsverteilung auf d.
 Zylinder II 146
 -, Ausmittlung II 130, 141
 -, Ausstattung . . II 207
 -, Berechnung mittels
 Dampfdiagramms II 135
 -, Bestimmung der Arbeits-
 verluste II 112
 -, Dampfdiagramm II 135
 -, Dampfdröslung II 117
 -, Dampfmantel II 140, 195
 -, Dampftriebweg. III 922
 -, Dampfverbrauch
 II 134, 138, 147
 -, Dampfverlust . . II 119
 -, Einfluß d. Zylinder-
 heizung II 129*
 -, Füllung . . II 117, 121*
 -, für Hebe- u. Masch. II 390
 -, Gleichstrom- II 138, 179
 -, Heiß- II 135, 146
 -, indizierte Spannung
 II 116, 124*, 125*
 -, kalorimetrische Unter-
 suchung I 445
 -, Kolbengeschwindigkeit
 I 929; II 117, 120*
 -, Kondensation . . II 207
 -, Kurbellager . . II 205
 -, Leergangswiderstand
 II 127*
 -, Lokomotiv- . . III 904
 -, Luftpumpe . . . II 213
 -, Normen f. Leistungs-
 versuche II 103, 108
 -, nutzbarer Dampfver-
 brauch II 119, 128*, 129*
 -, nversuche, Auswertung
 I 443
 -, Rahmen II 204
 -, Raumdiagramm II 142
 -, Raumverhältnis d. Zyl.
 II 131, 142, 761, 762*, 764*
 -, Rückkühlung . . II 219
 -, Schwungrad . . I 999
 -, Spannungskoeffizienten
 II 122*

Dampfmaschine, Steue-
 rungen s. dort . II 148
 -, Steuerung (Fördern.)
 II 461
 -, Teile der II 194
 -, Theorie der . . . II 442
 -, Verbundmaschine
 II 124*, 125*, 131-133*,
 142, 144, 201
 -, verlustfreie . . I 442
 -, vorteilh. Füllung. II 121*
 -, Wirkungsgrad
 II 116, 126*
 -, Zu- und Ableitung II 203
 -, Zwischenüberhitzung
 II 141
 -, Zylinder s. a. Dampf-
 zylinder I 955; II 194
Dampfturbine . . II 220
 -, Aktionsturbine II 223
 -, Druckstufen . . II 231
 -, Einfluß d. Kondensation
 II 222
 -, Einfluß d. Ueberhitzung
 II 221
 -, Einstufige Gleichdruck-
 turbine II 223
 -, Einstufige Ueberdruck-
 turbine II 230
 -, Geschwindigkeitsstufen
 II 228
 -, Gleichdruckturb. II 783
 -, Mehrstufige Gleichdruck-
 turbine II 228
 -, Reaktionsturbine II 230
 -, Rückwärts- . . II 780
 -, Schiffs- II 780
 -, Systeme u. Bauarten
 II 232
 -, Theorie II 220
 -, Ueberdruckturbine
 II 230, 781
 -, Vielstufige Ueberdruck-
 turbine II 231
 -, Wirtschaftlichkeit II 222
Dampfungsfaktor I 205
 -, widerstand . . II 976
 Dauerbrandlampe . II 846
Daumensenkbremse II 400
 -, stoppbremse . . II 395
 Davit, Boots- . . II 717
 Dechers Prismen**trommel**
 III 7
Decke III 407
 -, Belastung III 57
 -, Eigengew. III 408-413*
 -, Eisenbeton-III 270, 297
 -, gewölbte III 408*, 409*
 -, Holz- 408*
 -, Massiv- I 579; III 410*
 -, Massiv-, Amtl. Gewicht
 III 58
 -, Massiv-, Baupolizeibestimmungen
 III 276
 -, Ziegel- III 411*
 -, Zwischen- . . . III 408*

Decklage (Straßenb.)
 III 661, 663*
Dehnfuge III 397
Dehnung (Festigkeitsl.)
 I 502
 -, elastische I 504
 -, sellipse I 544
 -, sfähigkeit von Eisenbeton
 III 284
 -, sgesetz (Aerodyn.) I 342
 -, stroh I 962, 970*, 973*;
 II 203
 -, szahl (Festigkeitsl.) I 503
Deichbau III 611
Dekrement, logarithm. d.
 Schwingung . . I 206
Deltametall . . I 696
 -, Festigkeitsszahlen I 514*,
 515*, 521*
Displacement I 267; II 655,
 664*
Dériwicklung . . II 907
Derrick-Kran . . III 527
Descartesches Blatt I 114
Deseniss & Jacobische Was-
 serentseisenung III 721
Desinfektionsanlage III 946
Determinanten . . I 49
Deviationsmoment I 232
 -, widerst. d. Kreisels I 230
Diabas I 698
Diagramm, Arbeits- der
 Verbrennungsmotoren
 II 246
 -, Arbeits- für Fabrik-
 lagen III 472
 -, Dampf- I 444; II 136
 -, elektr. Fördermaschine
 II 1040, 1041, 1042
 -, Heyland- . . . II 941
 -, Kapsches Phasen-
 verschiebungs- II 926
 -, Kompressor- II 641, 642
 -, Raum- (Dampf.) II 142
 -, Massenwucht-
 I 1011, 1013
 -, Mehrzylindergesamt-
 III 139
 -, Schieber- II 152
 -, (Thermodyn.) . . I 416
 -, Ueberdruck- u. Wider-
 stands- (Schwungrad)
 I 1004
Diaphragmapumpe
 III 530
 -, ring III 13
Dichte d. Wassers I 392*
 -, e v. Gasen . . . I 413*
 -, heit d. Dampfabschlüsse
 III 149
Dichtung, Kolben- I 909
 -, Labyrinth- . . I 310, 909
 -, Rohr- I 963, 979; III 904
 -, Ventilfläche . . I 984
Diele III 494
Dielektrizitätszahl . II 865

Dieselmotor s. Verbrennungsmotor.

— en, Oele für . . . I 499*
 Dieterici u. Wobsasche Dampf-
 suche, Ammoniakdampf . . . I 452

Differdinger I-Träger I 655,
 669*

Differentialformeln I 67

— gleichung . . . I 81
 — pumpe . . . II 617
 — quotient . . . I 67
 — rechnung . . . I 67

Diffuser . . . II 628

Dimension s. Maßsystem.

Dioptrinstrumente . . . III 4

Diorit . . . I 698

Direktionskonstante . . . II 933

Direktrix . . . I 98

Diskontfaktor . . . I 54

Diskontinuitätsfläche . . . I 362

Diskriminante . . . I 98

Distanzmesser . . . III 35

Divergenz . . . I 127

D-Linie, Fläche (Statik) . . . III 96

Doerfelsteuerung . . . II 171

Doergens-Prisma . . . III 7

Dohmen-Leblanc-Reibungs-
 kupplung . . . I 866*

Dolomit . . . I 699

Doppelfrequenzmesser II 968

— kegel-Reibgskupplg. I 868

— kessel . . . II 10

— kollektormotor . . . II 981

— laschenntung . . . II 32

— punkt . . . I 96

— scheiben-Reibungskupp-
 lung . . . I 868

— schiebersteuerung . . . II 161

— schiebersteuerung mit
 Achsenreglern . . . II 167

— schlufmaschine . . . II 883,
 884*, 886

— T-Eisen . . . I 659*

— T-Eisen, Grey-Profil . . . I 655, 669*

Dowsongas . . . I 495

Drachen . . . I 355

Draht, Blei- . . . I 693*

—, Bronze- . . . I 695

—, Eisen- . . . I 655

—, Festigkeitszahlen I 521*

—, Gewichte verschiedener
 Drahtsorten . . . I 640*

—, Kupfer- . . . I 692

—, glas . . . I 726

—, lehre . . . I 642*

—, riesen . . . II 580

Drahtseil . . . I 890

—, Arbeitsverlust I 263, 264

—, betrieb . . . I 881; III 496

—, Festigkeitsz. . . I 521

—, Förder- . . . I 892*, 893*

—, f. Grubenbahnen III 969*

Drahtseil für Riesen

II 576*, 577*

— f. Schwebbahnen II 577

— f. Touristenbahnen III 970

—, Kran- I 894*, 895*, 896*

—, Schiffs- . . . II 726*

—, Triebwerk- (Gewicht) . . . I 832*

Drainage, s. a. Landwirt-

schaftl. Wasserb. III 604

— genossenschaft . . . III 607

Drainrohr . . . III 605*, 718

Drall . . . I 202

—, Satz vom . . . I 216

—, starrer Körper I 219, 225

Drängewassermenge III 600

Drehbank, Holz- . . . II 381

— bank, Metall- . . . II 358

— bewegung I 149, 208, 209

— erei . . . III 946

— feld . . . II 939

— gestell, Eisenb.-Wagen-
 III 931

— gestell, Lokomotiv-
 III 911, 913

— kraftkurve I 1004, 1005

— maschine (Schiffb.) II 789

— moment . . . I 169

— moment, zul. I 588, 589*

— schieber II 149, 159, 177,
 197

— stahl . . . II 345

— vektor . . . I 154

Drehkran . . . II 483, 531

—, Ausleger . . . II 491

—, Ausleger mit Laufkatze
 II 493

—, Ausleger mit Laufwinde
 II 494

—, Bau- III 526, 528, 529

—, fahrbarer Turm- II 500

—, fahrbarer . . . II 497

—, Gegengewicht . . . II 491

—, Gründung . . . II 492

—, hängender . . . II 501

—, Hubwerk . . . II 490

—, Lagerung d. drehbaren
 Teils . . . II 484

—, mit Endzapfen II 484

—, mit feststehender Säule
 II 487

—, mit drehb. Säule II 486

—, mit Rollendrehscheibe
 II 488

—, m. Säulendrehsch. II 487

—, mit Walzendrehscheibe
 II 489

—, Portalkran . . . II 500

—, Schwenkwerk . . . II 491

—, Veränderung der Aus-
 ladung . . . II 493

—, Wippausleger mit
 Rollenzug . . . II 494

—, Wippausleger mit
 Schraubenspindel II 495

—, Zweiradkran . . . II 501

Drehscheibe, Bau und

Bauarten . . . III 845

—, Bewegungswiderstand
 III 848

—, Drehvorrichtung III 847

—, Feststellvorrichtung
 III 848

—, geometrische Anordnung
 d. Gleise . . . III 842

—, Größe u. Anordnung
 III 845

— mit Strahlengleisen
 III 843*

—, Parallelgleise, nach d.
 Scheibe zusammen-
 laufend . . . III 843

— und Weiche . . . III 845

—, Unterbau . . . III 849

Drehstrom . . . II 876, 983

— generator II 968, 967, 969

— motor . . . II 938

— motor, Umlaufzahlen
 II 984*

—, Normalschaltung II 963

—, Regelung . . . II 969

—, serienmotor . . . II 980

—, verteilung . . . II 979, 991

Drehung I 152, 154, 217

— einer Kurve . . . I 120

—, starrer Körper I 219, 221,
 226

—, sarbeit . . . I 591*

—, sfedern . . . I 616*

—, sfestigkeit . . . I 506, 588

—, u. Biegung . . . I 605*

—, u. Schub . . . I 603

—, u. Zug (Druck) . . . I 605

Dreieckdachbinder III 108

—, ebenes . . . I 62

—, fläche, Trägheitsmoment
 I 237

—, Fl.-Inh. . . . I 133

—, Kugel- . . . I 63

—, lenker . . . I 951

—, querschnitt, Drehmoment
 I 589, 591

—, querschnitt, Kern I 595

—, Schwerpunkt . . . I 191

—, querschnitt, Trägheits-
 u. Widerstandsmom. I 553

—, Randspannung . . . I 610

Dreifachexpansions-

maschine II 123*, 125*,
 127, 128*, 129*, 132*,
 145, 762*

—, gelenkbinder . . . III 386

—, gelenkbogen . . . III 111

—, gelenkbogen (Drucklinie)
 I 182

—, leiteranlage . . . II 958

—, Drittelsenkrechte (kontinu-
 ierliche Träger) III 148

—, Drempel III 577

Drosselklappe, Wider-

standszahlen . . . I 307

—, spule II 948, 976

Droßlung d. Dampfes I 471;
 II 117
**Druck auf Körper mit ge-
 wölbter Oberfläche** I 529
 — beanspruchung, zulässige
 I 523*, 524*, 526*; III 62
 —, bürgerlicher (Wasser-
 versorgung) . . . III 702
 — des Getreides II 568, 569*
 — einheiten . . . I 412
 —, exzentrischer . . I 598
 — festigkeit . . . I 505
 — festigk. gerad. Stäbe I 527
 — festigkeit von Eisenbeton-
 stützen . . . III 278
 — gasanlagen . . . II 289
 —, hydraulischer . . I 288
 —, hydrostatisch. I 266, 288
 — knopfsteuerung, elektr. .
 II 421
 —, kritischer . . . I 481*
 — messung . . . I 412
 — rohr . . . III 630
 —, Sättigungs- . . . I 430
 —, Schnitt- (Werkzg.) II 347
 — spannung . . . I 505
 — steigerung infolge Ab-
 sperrung einer Rohr-
 leitung . . . I 307
 — stufen (Dampfurb.) II 231
 — u. Biegung . . . I 592
 — u. Drehung . . . I 605
 — u. Schub . . . I 604
 — wasseraufzug . . . II 422
 — wasserförderer . . II 563
 — wasserhebe- u. maschine II 391
 — wasserhebezug, Reibung
 I 247
 — welle (Schiff) . . II 776
Druckluftbremse III 883
 — förderer . . . II 561
 — gründung . . III 251, 257*
 — heber . . . II 597
 — hebe- u. maschine . . II 391
 Döker . . . III 574
 Dulac-Bauweise . . III 237
 Dunstdruck . . . III 33
 Duplexpumpe . . . II 618
 Duraluminium . . I 696
Durana-Gußmetall,
 Festigkeitszahlen I 516*
 — metall . . . I 696
Durchbiegung I 564* u. f.
 — d. einfachen vollwandig.
 Balkens . . . III 138
 — d. Schiffkörper II 740
 —, Ermittlung mittels Sei-
 lpolycron . . . III 129
 — d. Fachwerkträger III 1034
 —, Kragträger . . . III 1012
 —, lotrechte (Statik) III 124
 —, Querschnitttermittlg. für
 Walzträger . . I 577
 —, Träger kleinster . . I 584*
 — vollwand. Träger III 1007

Durchbiegung v. Trägern
 I 550; III 103, 105, 139
Durchfahrthöhe (Brücken)
 III 80
**Durchfluß d. gefüllte
 Rohrleitungen.** All-
 gemeines über Wider-
 stände u. Fließzustände
 I 281
 —, Besondere Fälle u. Er-
 scheinungen . . I 285
 —, Gerader Rohrstrang mit
 gleichförmigem Wider-
 stand . . . I 287
 —, Leitungen mit wechsell-
 tenden Höhenlagen, Quer-
 schnitten und Wider-
 ständen . . . I 282
 —, Widerstandszahlen für
 verschiedene Formen v.
 Rohrleitungen . . I 292
Durchfluß (Hydr.) I 272
 276
 —, (Kanal) . . . III 574
 —, (Straßenbau) III 660, 685
 —, Eisenbeton- III 805, 806
Durchlässige Bauten
 (Flußb.) . . . III 540
 — keit, magnetische II 859
 — keit von Bodenarten s. a.
 Versickerung I 316;
 III 709
Durchlaufender Träger s. a.
 Balken a. mehreren
 Stützen . . I 5-5, 587*
Durchsickern d. Wassers d.
 Erdreich . . . I 314;
 III 565, 703, 704*. 738
Durchstich . . . III 541
 Dürr-Kessel . . II 796, 799*
Düse, Wasser- I 317; II 309
 —, Dampfturbinen- II 224
**Dynamik luftförmiger
 Körper, Allgem.** I 347
 —, Bewegung wirklicher
 Flüssigkeiten . . I 361
 —, Grundbegriffe, Lehrsätze
 d. theoretischen Hydro-
 dynamik . . . I 349
 —, Luftbewegung, Luft-
 widerstand . . I 368
**Dynamik starrer
 Körper** . . . I 195
 —, Bewegung des Mass-
 punktes, s. a. dort I 204
 —, Bewegung der Massen-
 punktgruppe s. a. dort
 I 214
 —, Grundbegriffe u. all-
 gemeine Gesetze I 195
 —, Stofs s. a. dort I 241
 —, Trägheits-u. Zentrifugal-
 momente s. a. dort I 231
**Dynamik tropfbar flüs-
 siger Körper, s. a.**
 Hydrodynamik I 268, 349

**Dynamik tropfbar flüs-
 siger Körper, Allge-
 meines** . . . I 268
 —, Ausfluß d. Oeffnungen
 i. Gefäßen oder Stau-
 anlagen . . . I 270
 —, Durchfluß durch gefüllte
 Rohrleitungen . . I 281
 —, Fließen d. Wassers d.
 Erdreich . . . I 314
 —, Fließen in nicht gefüllte
 Rohrleitg., Flüssigen und
 Kanälen . . . I 310
 —, hydraulischer Druck u.
 Arbeitsvermögen aus-
 fließender Strahlen I 318
 —, Steighöhe und Sprung-
 weite freier Wasser-
 strahlen . . . I 317
 —, Widerstand v. Flüssig-
 keiten gegen bewegte
 Flächen u. Körper I 323
**Dynamische Grund-
 gleichung** . . . I 165
Dynamomaschine II 883
 —, Drehfeld, Drehstrom-
 motor . . . II 938
 — für konstanten Strom
 II 887
 —, Gleichstrom- s. a. dort
 II 883
 —, Induktion . . . II 867
 —, mechanische Anfor-
 derungen bei Parallelbe-
 trieb v. Wechselstrom-
 maschinen . . II 932
 — m. gegengeschalteter Ver-
 bundwicklung II 888
 —, Schaltung u. Regelung
 II 955
 —, Turbodynamo . . II 930
 —, Wechselstrommaschine
 s. a. dort . . II 924
 Dynamometer . . II 327
 Dyne . . . I 166

E.

e (Grundzahl d. nat. Log.)
 I 43*, 48
e, Reihenentwicklung I 57
eⁿ . . . I 262*
**Ebene, geneigte (Schiffs-
 hebewerk)** . . III 592
 — im Raume . . I 115, 116
 —, Schmiegungs- (Krüm-
 mungs-) . . . I 119
Economiser . . . II 65
E-Eisen . . . I 660*
 — für Schiffbau . . I 667*
Eisenkalkkurve I 114, 115
Effekt . . . I 200
 —, elektrischer II 857, 864,
 873
 —, Ferranti- . . . II 874
 — ive Spannung . . II 871

Effektiver Strom . . . II 871
 —ivkraft I 215
 —kohlenlampen II 845, 846
 —quotient I 221
Eigengewichte, s. a. Gewichte, spezifische Gewichte . . . I 633* u. f.
 —, Baustoffe u. Baukörper III 59
 —, Belag-Eisen . . . I 662*
 —, Beton I 723
 —, Dachverbände III 358
 —, Dächer III 58, 418–421*
 —, Decken III 57, 408* bis 413*
 —, Doppel-T-Eisen I 659*
 —, Drähte I 640*
 —, Eisenbeton . . . III 273
 —, eiserner Brücken III 65, 66, 67, 68, 70
 —, Erdarten II 514
 —, geschichteter Körper I 633*
 —, Gewölbe III 57
 —, gewölbte Brücken III 65
 —, Holz . . . I 634*, II 723*, 725*; III 59
 —, Kuppeldächer . . . III 190
 —, Profilleisen I 656* u. f.
 —, Schiffe II 719*
 —, Stangengewichte . I 638*, II 703*
 —, Straßensfuhrw. III 648*
 —, T-Eisen I 661*
 —, Turmspitzen . . . III 192
 —, U-Eisen I 660*
 —, Walzprofile . I 656* u. f.
 —, Winkelleisen I 656*, 658*
 —, Zahnräder . I 812, 813*
 —, Z-Eisen I 662*
Eigenschaften verschiedener Stromsysteme. Wahl, Regelung der Gleichstrommotoren . . . II 976
 —, Wahl d. Systems. Regelung d. Wechselstrommotoren . . . II 979
Eigenschwingung v. Massenpunkten . . . I 207
 Eimerwerk II 596
 Einankurformen III 952
Einflußfläche . . . I 596
 —linie III 94
 —linie, parabelförmige III 142, 143*, 163
 Einfriedigungen . . . III 659
Eingriffdauer (Zahnrad) . . . I 791
 —linie I 787
 —feld I 798
Einheitsgewichte f. Schiffbau II 720
 —, Wurzeln der — I 47
Einhüllende Kurve . . . I 97

Einphasenmaschine II 925
 Einsatzhärtung . . . I 647
Einschienenbahnkreisel . . . I 230
Einschneiden (Vermessungskunde) . . . III 21
Einspritzkondensator II 210
Einstauung (Bewässerung) . . . III 608
Einsteigeschacht . . . III 753
Eintrittswinkel (Schiffb.) . . . II 748*
Einzelantrieb, elektr. III 497
Eisen I 631, 634
 —, Bestandteile, Beimen- gungen I 643
 —blech s. a. Dampfkessel, Kessel . . . I 654, 676
 —draht, Gewicht . I 640*
 —draht, Festigkeitszahlen I 521*
 —, Einteilung . . . I 644
 —Erze I 648
 —, Erzeugung d. Roheisens I 648
 —, Festigkeitszahlen I 513*, 521*; II 334
 —, Formgebungsarbeiten I 652
 —gewicht eiserner Brücken III 65, 66
 —, Glühfarben . . . I 389
 —, Handelsfabrikate I 653
 —, Härteskala . . . I 645*
 —, schmiedbares — I 650
 —, Schweißa . . . I 651
 —sorten III 983
 —, spez. Wärme . . I 394*
 —, Thomas- I 650
 —, Titan-, Festigkeitszahlen I 512*
 —, zulässige Beanspruchung I 523*, 524*; III 62
 —, Zustandsänderungen u. Wärmebehandlg. I 646
Eisenbahnchse . . . I 847; III 872, 907
 —feder, zulässige Spannung I 524
 —heizung III 934
 —schiene s. Schiene.
 —schränke III 829
 —schutzanlagen . . III 830
 —schwelle s. a. Schwelle.
 —schwelle, Eisenbeton- III 319
 —wagenfeder I 615; III 914, 930
 —zug, größte Zuglänge u. Belastung III 770
Eisenbahnbau, Bahnhofsanlagen s. dort III 832
 —Streckenbau s. dort III 786
 —, Vorarbeiten s. dort III 767

Eisenbahnbau-Streckenbau III 786
 —, Bahnkörper, Planum, Bahnkrone . . . III 786
 —, Oberbau s. dort III 795
 —, Schutzanlagen . . III 830
 —, Unterbau s. dort III 786
 —, Wegübergänge III 828
 —, Weichen u. Kreuzungen III 815
Eisenbahnbau-Vorarbeiten . . . III 767
 —, Arbeitsarten der Ausführung . . . III 781
 —, Art u. Umfang III 767
 —, ausführliche Vorarbeiten III 779, 780
 —, Ausführung der technischen — . . . III 780
 —, Flächen- und Massen- ermittlung . . . III 781
 —, Form der allgemeinen Vorarbeiten III 778, 780
 —, Form d. Entwurfs III 778
 —, Geschäftsgang in Preußen III 767
 —, Gleisentfernung III 775
 —, größt. Raddruck III 778
 —, größte Zugstärken III 771
 —, Grundzüge für die — III 767
 —, Kostenüberschlag
 —, Krümmungshalbmesser III 776
 —, Linienvergleich III 773
 —, Massenverteilung III 784
 —, sachl. Vorsch. III 774
 —, Spurweite, Normalprofile III 774
 —, Vorschriften . . . III 773
 —, Widerstände, Zuglänge III 768
 —, Zuglänge und Belastung III 770
 —, zulässige Fahrgeschwindigkeit . . . III 777
 —, zweckmäßigste Steigung III 772
Eisenbahnbremse III 877
 —, Bremsklötze . . . III 877
 —, Bremsverzöger. III 886
 —, Bremswagenanzahl u. verteilung III 886
 —, Bremsweg III 885
 —, Durchgehende — III 882
 —, Gestänge III 879
 —, Gruppen- III 882
 —, Hand- III 881
 —, Zahnradb. III 966
Eisenbahnbrücke s. a. Brücke, eiserne Brücken- u. Dachkonstrukt.
 —, Allgemeines, Gesamt- anordnung . . . III 1054

Eisenbahnbrücke,

- Belastung d. Lastenzüge III 65, 71, 79, 81, 82
- , Brückenbahn III 1057
- , Brücken i. Kurven III 1089*
- , Gewicht von Bogen-trägerbrücken III 70
- , Gewicht v. Balken-trägerbrücken III 68
- , gewölbte III 1094*—1096*
- , Fahrbahn m. Kiesbett III 1060
- , Konstruktionshöhe III 1070, 1071*
- , Querschwellenoberbau III 1057, 1061*—1063*
- , Stützen zwischen Gleisen III 1072
- , Walzträger i. Betondecke III 1066, 1067*

Eisenbahnfahrzeuge,

- Allgemeines III 870
- , Eisenbahn - Bremsen s. dort III 871
- , Eisenbahn - Triebwagen s. a. dort III 921, 962, 964
- , Eisenbahnwagen s. dort III 925
- , Leistung der — III 937
- , Lokomotiven u. Tender s. dort III 886
- , Lokomotiven (Zahnrad-bahn) s. a. dort III 958, 962
- , Radsätze III 870
- , Unterhaltungskosten III 933
- , Untersuchungszeit-räume III 937
- , Zug- u. Stoßvorrich-tungen III 873

Eisenbahntriebwagen,

- Allgemeines III 921
- , Dampftriebwagen III 921
- , Sammlertrieb. III 924
- , Triebw. mit Verbren-nungsmasch. III 923

Eisenbahnwagen s. a.

- Eisenbahnfahrz. III 925
- , Beleuchtung III 854
- , Bezeichnung III 927
- , Breiten- u. Höhenmaße (Normalprofil) III 925
- , Gepäck- u. Postwagen III 935
- , Güterwagen III 936
- , Oberkasten u. Einrichtg. d. Personenw. III 932
- , Radstand III 927
- , Untergestell III 927
- , Wagen für besondere Zwecke III 937
- , Wagengattungen III 933*
- , Werkstatt III 946
- , Widerstandszahl III 769
- , Zahnradbahnw. III 968

Eisenbahnwerkstätte,

- Allgemeines III 937
- , Anordng. u. Einrichtg. d. — Abteilungen III 944
- , Desinfektionsanl. III 946
- , Dreherei III 946
- , Gießerei III 947
- , Hebevorrichtg. III 943
- , Kesselschmiede III 945
- , Kraftversorgung III 943
- , Lokomotivwerkst. III 944
- , Ort, Einteilung, Größe III 938
- , Schmiede III 947
- , Stellmacherei, Tischlerei, Lackiererei, Sattlerei, Putzerei, Klempnerei, Abkocherei III 948
- , Wagenwerkstatt III 946
- , Werkstattabteilungen, Grundrissarten III 939
- , Werkstattegebäude, Zubehör III 941
- , Werkzeugmacherei, Weichenwerkst., Lehrlings-werkst., Magazin III 949
- , Wohlfahrtseinrich-tungen III 950

Eisenbahnwesen, Ab-kürzungsbezeichnungen

- III 765
- , Bestimmen. üb. Bau u. Betrieb d. Eisenb. III 765
- , Eisen-Bahnau s. dort III 767
- , Reibungsbahnen III 765
- , Standseilbahnen s. dort III 969
- , Zahnradbahnen s. dort III 951

Eisenbeton

- , Anfangs- und Wärme-spannungen III 281
- , Berechnung der Bügel III 292
- , Berechnung der Platten III 270, 284, 285*
- , Berechnung der Platten-balken III 270, 288
- , Berechnung d. Stabauf-biegungen s. III 293
- , Berücksichtigung d. Beton-zugspannen III 290
- , Eigengewicht III 273
- , Elastizität u. Dehnungs-fähigkeit III 284
- , Festigkeit u. zuläss. Beanspruchung III 278, 282*
- , Schub- u. Haftspannun-gen III 291
- , Theorie des III 273
- , zulässige Beanspruchung I 527; III 274, 277, 282*

Eisenbetonbau, Allge-meines

- III 265

Eisenbetonbau,

- Amtl. Best. für die Aus-führung der Hochbau-konstruktionen III 267
 - , Anwendungen im Hoch- und Tiefbau III 297
 - , Baustoffe III 266
 - , Behälter III 304, 729
 - , Bogenbrücken III 312
 - , Brücken m. Walzträgern III 1066, 1067*
 - , Brunnen III 247
 - , Dächer u. Hallen III 300
 - , Decken III 276, 297
 - , Gewölbe III 272, 301
 - , Grundformen III 270
 - , Grundlagen für die Be-rechnung III 277
 - , Gründungen III 303
 - , Leitsätze f. d. statische Berechnung III 273
 - , Platten- und Balken-brücken III 307
 - , Röhren, Kanäle, Durch-lässe III 305
 - , sonstige Anwendungs-gebiete aus Hoch- und Tiefbau III 317
 - , Spundwände III 232
 - , Stützen III 272, 298
 - , Stützen (Druckfestig-keit) III 278
 - , Stützenberechn. III 294
 - , Treppen III 299
 - , Wände u. Mauern III 302
- Eisenkonstruktionen** III 358
- , Dachkonstruktionen III 373
 - , Dreigelenkbinder III 386
 - , Kreuzverbände III 396
 - , Nietungsvorsch. I 773
 - , räuml. Fachwerk III 390
 - , Reinigung und Anstrich I 686
 - , Schrauben- u. Nietver-bindungen III 359
 - , Stützen III 364
 - , Trägerlagen III 360
 - , Treppen III 406
 - , Türen, Tore, Fenster III 402
 - , Zulage III 358
 - , zusammenhängende III 397
 - , Zweigelenkbinder III 388
- Eisen-Portlandzementanl. Arbeitsdiagr. III 474
- Eiserne Brücken s. a.**
- Brücke III 983
 - , Allgemeines III 983
 - , Baustoffe III 983
 - , Eisengewicht III 65, 66
 - , Haupttragwerke v. Trag-werk III 987

Eiserne Brücken.

- Lager III 1035
- , Raumverbände III 1045
- , Verbindungsmittel

III 988

- , Walzeisen III 986

Ejektor III 598

- , Asche II 563

Elastische Dehnung I 504

- s Gewicht, s. a. z-Gewicht.

- s Gewicht f. d. biegungs-

- festen Stabzug III 137

- Gewichte, Methode der

III 127

- Kupplung I 860

- Linie I 549, 564* u. f.

- Linie d. einfachen voll-

- wandig Balkens III 138

- Nachwirkung (Festig-

- keitsl.) I 505

- Querstützung I 538

- Schwingung I 147

- r Stofs I 242

- Steifigkeit I 263

Elastizität v. Flüssig-

- keiten I 265

- , Stofs I 241

- s Gleichungen f. stat. un-

- bestimmte Träger III 120

- s Grenze I 504

- s mafs I 503, 507*

- s mafs für Beton III 284

- Elektra-Turbine II 245

Elektrische Arbeit (Lei-

- stung) II 857, 864

- Beleuchtung s. a. Be-

- leuchtung, Lampe.

- Bremse III 966

- Energieübertragung in

- Fabriken III 497

- Hebeemaschine II 993

- Heizung III 444

- Kraftübertragung, s. a.

- Wasserkraftanlagen.

- Lokomotive (Zahnradb.)

III 962

- r Aufzug II 414

- r Einzelantrieb III 497

- r Gruppenantrieb III 497

- r Leitungswiderstand

II 862

- r Motorwagen II 824

- r Schmelzofen I 651

- r Widerstand II 857, 858

- s Bogenlicht II 842, 847

- s Glühlicht II 839, 841

- s Schweifsverfahren I 686

Elektrische Bahnen

- II 1005

- , Fern-Vollb. II 1026

- mit eigenem Bahnkörper

II 1023

- , Städteverbindungs- und

- Ueberlandb. II 1023

- , Stadt-Schnellb. II 1025

Elektrische Bahnen.

- Straßenb. s. dort II 1005

- , Triebwagen III 921

- , Werkstätten II 1022,

1023; III 949

Elektr.Fördermaschine

- II 1029

- , Anordnung des elektr.

- Teiles II 1030

- , Anordnung des mech.

- Teiles II 1029

- , Antrieb d. Drehstrom-

- motor II 1036

- , Antrieb d. Repulsions-

- oder Drehstromserien-

- motor II 1037

- , Antrieb d. Steuerdynamo,

- Ausgleich d. Belastungs-

- schwankungen II 1032

- , Berechnungsdaten, Ge-

- schwindigkeitsdia-

- gramm II 1040

- , Drehmomentdiagramm,

- Energieverbrauchsdi-

- agramm II 1042

- , Gleichstrommotor,

- Ankeranlasserregelung

- II 1030

- , Gleichstrommotor,

- Leonardschaltg. II 1031

- , Leerlaufverbrauchs.

- II 1036

- , Leistungen u. Versuchs-

- ergebnisse ausgeführter

- Anlagen II 1035*

- , Leistungsdiagramm des

- Fördermotors II 1041

- , Puffermaschine und

- Batterie II 1043

- , Schwungradgew. II 1043

- , Sicherheitseinrichtungen

- II 1037

Elektrische Leitung

- II 985

- , Allgem. Gesichtspunkte

- für die Querschnittsbe-

- stimmung II 985

- , Ausführung der Frei-

- leitungen II 997

- , Berechnung d. Leitungs-

- querschn. II 990*

- , Blanke Kupferleitung

- II 987

- , Geschlossene Leitungs-

- netze II 995

- , Isolierte Kupferleitung,

- nicht unterirdisch ver-

- legte Kabel. II 987*

- , Kabel, i. Erdbod. ver-

- legt II 988, 989*

- , Mehrere hintereinander-

- lieg. Abnahmestellen

- II 994

- , Stromentnahme nur am

- Endpunkt II 991

- Elektrizitätsmenge. II 857

Elektrohängebahn II 591

- lyse II 864, 865*

- magnetische Friktions-

- kupplung I 870

- magnetische Wechsel-

- wirkungen II 866

- seilbahn II 592

- stahl I 651

- stahllosen I 651

- stahlverfahren I 651

Elektromotor II 883

- , Drehstrom II 938, 979

- , Gleichstrom II 916, 976

- für elektr. Hebeemasch.

- II 393

- ische Gegenkraft II 865

- ische Kraft II 857*, 858, 867

Elektrotechnik, All-

- gemeines II 857

- , Deutsches Reichsgesetz

- betr. elektr. Mafsein-

- heiten II 858

- , Dynamomaschinen und

- Motoren II 883

- , Eigenschaften verschie-

- denner Stromsysteme u.

- Wahl II 976

- , Elektr. Bahnen s. dort

- II 1005

- , Elektr.Fördermaschinen

- s. dort II 1029

- , Elektr. Leitungen s. dort

- II 985

- , Elektr. Mafseinheiten

- II 857

- , Grundgesetze II 861

- , Magnetismus II 859

- , Normalien f. Bewertg. u.

- Prüfg. elektr. Masch. u.

- Transformat. II 914

- , Schaltung u. Regelung d.

- Stromerzeuger II 955

Elementararbeit I 196

- arbewegung I 154

- ardäche I 122

- e, chemische I 630*

- , galvanisches II 878, 879*

Elevator II 522, 548;

- III 518

- , Dampfstrahl- II 598

- , pneumatischer II 561

- Eliminationsverfahren

- (Gleichung) I 51

- E-Linie, Culmannsche

- (Erddruck) III 201

Ellipse (Gleichg.) I 98, 99

- , Abschnittsschwerpunkt

- I 193

- , Flächenträgheitsmoment

- I 238

- , Konstruktion I 101

- , Querschnittsdrehmoment

- I 589, 591

- , Randspannung. I 610

- , Trägheits- u. Wider-

- standsmoment I 555

Ellipse, Umfangsträgheitsmoment . . . I 287
 — nlenker . . . I 950
Ellipsoid . . . I 123, 140; III 1, 47, 49
 —, Schwerpunkt I 194, 195
 —, Trägheitsmoment I 240
 Elliptisches Zahnrad I 799
 Emaile . . . I 684
 Emissions- (Strahlungs-) vermögen . . . I 409
 Emscher-Brünnen . III 760
 Endgeschwindigkeit (Fall-) I 1080*
Energie, kinetische I 198
 —, potentielle . . . I 199
 Englischer Dachbinder . III 108
 Enkegebläse . . . II 651
 Enteisung d. Wassers . III 719
 Entfernungsmesser . III 35
 Entleerungsvorrichtung, Kessel II 75, 80, 803; III 903
 Entölung des Niederschlagswassers . . . II 212
Entropie . . . I 414, 417
 — d. Wasserdampfes I 434*, 436*
 —diagramm . . . I 416
 Entstaubungsanlage III 508
Entwässerung, Eisenbahn . . . III 787
 —, Fabrik- . . . III 503
 —, landwirtschaftliche III 599, 603
 —, Städte- s. Städteentwässerung.
 — v. Landstraßen III 658
 Enveloppe . . . I 97
 Entzündungstemperatur II 248
 Epizykloide . . . I 108
Erdarten, Gewicht II 514*
 —beschleunigung I 43*, 164
 —bogen . . . III 238
 —en . . . I 698
 —förderung III 792*, 793*, 794
 —gewinnung, Kosten III 791*
 —öl, Heizwert . . . I 479
Erdarbeiten . . . III 790
 — a. Kanälen . . . III 570
 —, Flächen- und Massen-
Erddruck . III 243, 1092
 —, Coulombsche Theorie III 200
 —, Pressungen im Stützmauerquerschn. III 208
 —, Rankinesche Theorie III 208
 —ermittlung . . . III 781
Erde, s. a. Rotationsellipsoid . . . III 1, 49
 —, Achsen . . . III 1

Erde, mittlere — Kugel III 1
 —, Besselsche Elemente III 1
 —, Krümmung . . . III 27
Erdreich, Aufnahme von Wasser . . . III 704*
 —, Böschungswinkel III 201*
 —, Durchlässigkeit III 709
 —, Fließen des Wassers durch — . . . I 314
 Erg . . . I 196
 Ergin . . . II 251
Erhaltung der Energie, Gesetz der — . . . I 198
 — d. Masse, Gesetz der I 165
Erregerschwingung I 207
Erwärmung d. Dynamomaschine . II 912, 913
 — d. Wassers i. Wasserleitg. III 734
Erzwungene Bewegung I 210, 215
 — Schwingung . . . I 206
Estrich . . . I 709, 712
 —, Zement . . . I 720
 Eternit . . . I 705
 Etmal . . . II 740
Eulersche hydrodynam. Grundgleichungen I 268
 — hydrostatische Grundgleichungen . . . I 265
 — Knickformeln . . . I 533
 — Kreisgleichungen I 226
 — r Satz (Normalschn.) I 122
 Evanscher Lenker I 950
 Evolute . . . I 95
Evolvente . . . I 95, 96
 —, Huygenssche Traktorie I 113
 —, Kreis- . . . I 119
 — nverzahnung . I 790, 793
 — nverz. Reibung . . I 259
Expansion in Schiffsmaschinen . . II 761*
 —kurven d. Dampfmasch. I 444
 — — vollkommener Gase I 423, 426
 — — von Dämpfen I 439
 — slinie (Dampf.) II 137
 — ssteuerung . . . II 160
Explosionsgrenzen I 493*
 —motor, S. Verbrennungsmotor
Exponent, Gas- I 424, 425*
 —ialreihen . . . I 57
Exzenter . . . I 939
 —, Relativ- . . . II 162
 —, resultierendes . II 161
 —stange . . . I 940
 —umsteuerung . . . II 182
 Exzent. Zug- u. Druck I 598
 Exzentrität der Kegelschnitte . . . I 98, 100

Exzels, sphärischer I 64, III 48

F.

Fabrikanlagen s. a. Eisenbahnwerkstätte III 466
 —, Allgemeines für d. Entwurfsbearbeitung III 468
 —, Arbeitsdiagramme III 472
 —, Beleuchtung . . II 853; III 502
 —, Be- u. Entwässerung III 502
 —, Dächer . . . III 476
 —, Einzelheiten . . III 476
 —, Eisenbahnwerkstätte III 937
 —, Energieverteilung III 495
 —, Entstaubungsanlag. III 508
 —, Feuerschutz . . III 503
 —, Fußböden . . . III 493
 —, Hallen . . . III 985
 —, Heizung . . . III 458, 498
 —, Kanäle . . . I 314
 —, Kranstützen . . III 486
 —, Lichtstärke II 852*, 853
 —, Lüftung . . . III 501
 —, Schutzvorricht. III 505
 —, Tagesbelichtung III 478
 —, Tore, Türen . . III 493
 —, Treppen . . . III 491
 —, Wahl d. Bauplatzes III 468
 —, Wahl d. Fabrikortes III 466
 —, Wohlfahrtseinrichtungen III 511
Fachwerk . . . I 163, 179
 —, Arbeitsgleichung III 117, 118
 —, Formänderungsarbeit III 139, 141
 —, graph. Bestimmung d. Stabkräfte . . . I 185
 —, Holz- . . . III 344
 —, Satz d. 3 Pole (Mechanik) I 163
 —, Stablängenänderg., Knotenpunktschieb. III 117
 —, stat. unbestimmt. I 176
 —, träger, statisch unbestimmt s. a. Träger III 117, 119
 —, trägersysteme . . III 1014
 —wand . . . III 353
 —wand, eiserne . . III 399
Fachwerkbalken s. a. Dachbinder, Brücken- u. Dachkonstruktionen, Brückenbau, Eisenbahnbrücken, Tragwerk I 532
 —, auf 3 Stützen . . III 166
 —, Dreiecksbogen III 111
 —, einfacher, Konstr. III 1014

Fachwerkbalken,

- Englischer (Dreieck-) Dachbinder . . . III 108
 - , Formeln für Dreieckssysteme . . . III 89
 - , Gerberscher III 99, 1010, 1017
 - , Kranträger II 475, 481, III 110
 - , Parabelträger III 103, 878, 1035
 - , Parallelträger III 78, 102
 - , Pauliträger . . . III 105
 - , Polonceau-Binder III 106; 398
 - , Schwedlerträger III 105
 - , Sichelträger III 106, 170
 - , Spannkraften . . . III 87
 - , Spannkraftermittlung mittels Cremonaschen Kräfteplanes . . . III 94
 - , Spannkraftermittl. m. Einflußlinien . . . III 94
 - , Spannkraftermittl. nach d. Ritterschen Verf. III 87
 - , Ständerfachwerk III 89
 - , Strebenfachwerk III 91
 - , versteifte Kette III 115
 - , Verwertung der *M_s*-Linie d. einfach. Balkens III 101
 - , zeichnerische Bestimmg. d. Spannkraften infg. ein. bewegl. Gruppe v. Einzel-lasten . . . III 93
 - , Zeltdächer III 109, 349, 395
- Fachwerk, räumliches,**
Ausführung . . . III 390
- , Führungsgerüste d. Gasbehälter . . . III 191
 - , Kraftzerlegung i. Raum III 185
 - , Kuppeldächer . . . III 188
 - , Turmspitzen . . . III 192
- Fahrbahn, Landstr.-** III 660
- — städt. Strafsen III 690
 - — v. Eisenbahnbr. III 1060
 - korb II 429
 - schacht II 436
 - schalter II 1020
 - stuhl, s. Aufzug.
- wasserverhältn. deutscher Wasserstraßen III 569*
- widerstand (Automobilb.) II 806, 807*
- —, Eisenbahn- . . III 768
- Fahrenheit-Therm. I 388*
- Fahrtgeschwindigkeit**
v. Flußschiffen III 561
- v. Strafsenbahnen II 1019
 - , Zahnradbahn- . . III 968
 - , zuläss. (Eisenb.) III 778
- Fahrtzeugbewegung** I 153
- , Eisenbahn-, s. dort.
 - , maschine, s. a. Verbrennungsmotor II 804, 810

Fahrzeug, Strafsen-

- III 645*
 - —, Eigengewicht III 648*
 - Fakultät I 45
- Fallbeschleunigung**
I 43*, 164, 1080*
- bremse II 418
 - , freier I 204, 1080*
 - geschwindigkeit . . I 204, 1080*
 - hammer II 335
 - höhe I 204, 1080*
 - höhe (Hydr.) . . . I 283
 - rohr II 559
- Fällmittel f. Abwässer-**
reinigung III 760
- Fangedamm.** III 234
- keil II 418
 - vorrichtung an Aufzügen II 416, 427
- Parad.** II 857
- Faradaysche Scheibe** II 889
- s. elektrolytisches Gesetz II 864, 865*
- Farben** I 686
- , Gewichte II 724*
 - verschiedener Lichtquellen II 850
- Faschine** III 541
- Fals** I 140
- Feder, Automobil-**
II 814, 821
- , Biegungs- I 613*
 - , Drehungs- I 616*
 - , Eisenbahntrag- . . III 914, 930
 - , Festigkeit I 612
 - hammer II 835
 - , Kegelstumpf- . . . I 618*
 - , Puffer- III 876
 - regler I 1025*
 - rohr, kupfernes . . . I 970*
 - , Schwingungszeit I 613
 - stahl, Chromsilicium- I 512*
 - —, zuläss. Spannng. I 524
 - , Strafsenfuhrw.- III 648
 - ungsarbeit I 612
- Fehler, Beobachtungs-**
I 86; III 49
- fortpflanzungsgesetz III 54
 - gleichungssystem (Vermessungskunde) III 50
 - grenzen (Vermessungsk.) III 30
 - grenzen, amtlich zulässige III 4, 19, 25
- Feinbleche** I 676*
- lehre I 642*
- Feldinstrumente** . . . III 35
- magnet, Gleichstrommaschine- II 893, 909
 - , magnetisches II 859, 866
 - maß I 1043*
 - stärke I 195; II 859
- Felgenbreite** III 647*

Fellows Stirnräderstofs-

- maschine II 871
- Fenster** III 329, 402, 403, 478
- , Gewicht II 727*
 - glas I 725
- Fernheizung** III 461
- rohr III 12, 36
 - übertragung der Wasserkraft- III 638
- Ferranti-Effekt** II 874
- Festigkeitslehre, Allgemeines u. Versuchswerte**
I 502
- , äquatoriale Trägheitsmom. u. Widerstandsmom. üblicher Querschnitte I 552* u. Abgde.
 - , Biegungsfestigkeit I 540
 - , Drehungsfestigkeit I 588
 - , Elastizitäts- und Festigkeitsz. I 507*, 513—522*
 - , Erklärungen I 502
 - , Festigkeit einfach gekrümmter Stäbe I 608
 - , Festigk. d. Federn I 612
 - , Festigkeit der Platten u. Gefäße I 620
 - , Festigkeit gerader Stäbe I 527
 - , Knickfestigkeit I 533
 - , Schubfestigkeit I 538
 - , Temperatureinfluss auf d. Festigkeit I 513*, 515*
 - , Träger a. mehreren Stützen I 585
 - , Träger m. unveränd. Querschn. I 564* u. Abgde.
 - , Träger v. gleichem Widerstand geg. Biegung I 580*
 - , Träger v. kleinst. Biegunkswinkel a. Ende u. v. kleinst. Durchbiegung . . . I 584*
 - , Zug- u. Druckfestigkeit I 527
 - , zuläss. Spannung f. d. Hochbau I 524*; III 62
 - für d. Maschinenbau I 522, 523*
 - , zusammengesetzte Festigkeit I 592
- Festigkeitszahlen** I 507*, 513*
- , Eisenbeton III 278
 - (Metallbearbeitg.) II 334, 343, 346
- Festigkeit, zusammengesetzte, Beanspruchung d. Normalspannung**
I 592
- , Beanspruchung zug- u. druckfester Körper I 592
 - , Biegung u. Drehung I 605
 - , Biegung u. Schub I 604
 - , Einflußfläche I 596
 - , exzent. Beanspruchung nur druckfest. Körper I 601

Festigkeit, zusammen-
gesetzte, Schub u.
 Drehung . . . I 603
 —, Spannungsermittlung I 593
 —, Zug- (Druck) u. Biegung I 592
 —, Zug (Druck) u. Drehung I 605
 —, Zug (Druck) u. Schub I 604
Festpunkt (kontinuierlich)
 Träger III 147, 148, 159
 — (Trägheitsellipse) I 235
Fett I 684
 —, Schmier- . . . I 746
 —endach III 198, 345, 873
 —gas II 838
Feuchtigkeit, Luft I 423
 —, relative I 421; III 424
Feuerbrücke . . . II 46
 —büchse . II 102; III 891
 —buchakessel . . II 13
 —geschränk . . . II 44
 —löscheinrichtung III 942
 —, Fabrik- . . . III 503
 —schutz (Eisenbahn) III 831
 —sichere Wand . III 327
Feuerung, Dampfkessel
 II 12, 40, 793, 795
 —, Flüss. Brennstoffe II 793
 —sarten, Kessel- . II 46
Feldrohr II 23
Filter I 315; III 716, 717
 —, Abwässer- . . III 761
 —becken III 717
 —gang III 707
 —geschwindigkeit III 718
 —, Luft- III 413
 —sand III 717*
 —, Schnell- III 719
Filzplatte, Asphalt- I 733
Finksche Steuerung II 188
Fixpunkt (kontinuierliche
 Träger) . . . III 147, 159
Flacheisen I 655
 —, Gewichtstafel . I 670*
Fläche, Führungs- I 212
 —, Haupt- I 123
 —, krumme I 121
 —, Trägheitsmom. I 233, 237
 —, wirksame . . . I 593
 —n berechn. (Schiffb.) II 656
 —ndruck d. Getreides II 568
 —ndruck s. a. Auflager-
 druck, Leibungsdruck
 I 846*, 949; II 278, 280,
 335, 470, 774*
 —ndruck (Kollektorbürsten)
 II 908
 —nerrmittlung (Eisenbahn-
 bau) III 781
 —ngeschwindigkeit I 203
 —nhelle II 828
 —ninh. ebener Gebilde I 133
 —ninhalt (Kurve) . . I 97

Flächeninhaltsermittlung
 III 23
 —nmafs I 1050*
 —nnivellement . . III 30
 —nprofil (Eisenbahnbau)
 III 784
 —nprofil (Kanalbau) III 563
 —nsatz I 203
 —nschwerpunkte I 188, 191
 —nteilung III 26
Flammrohr II 8, 36, 95
 —kessel II 6*, 8
Flanschen-Formstücke
 I 959, 961*
Flanschverbindung I 957,
 958, 964, 974, 975, 979, 980
Flaschenzug . . . II 337*
Flechtzaun III 542
Fliegen I 355
Fliesen d. Wassers durch
 Erdreich s. a. Versicke-
 rung I 314
 — in nicht gefüllten Rohr-
 leitgn., Flüssen, Kanälen
 I 310
Fliebsgrenze (Festigkeitsl.)
 I 504
Floßholzförderung II 518
Flügelradmesser II 324
 —theorie I 355
 —, Widerstand . . I 379
Flußbreite III 546
 —deich III 611
 —eisen, Amtl. Gew. III 60
 —eisen, Festigkeitszahlen
 I 507*, 513*, 521*, 535*
 —eisen, zulässige Beanspr.
 I 523*, 524*, 536; III 62, 76
 —eisenplatte, Gewicht I 641*
 —mündung III 594
 —stahl, Festigkeitszahlen
 I 507*, 521*, 535*
 —stahl, zulässige Beanspr.
 I 523*, 536; III 63
 —stahlplatte, Gewicht I 641*
Flußbau, Allgemeines
 III 532
 —, Bändigung der Gebirgs-
 flüsse III 545
 —, Baustoffe, Baubestand-
 teile III 541
 —, Bewegung d. Wassers in
 Krümmungen . III 536
 —, Flößerei III 553
 —, Flussspaltn., -Verein-
 gungen (Mündgn) III 541
 —, Hafen III 556
 —, Kanalisierung d. Flüsse
 III 547
 —, Linienführung . III 537
 —, Mittel z. Regelg. III 538
 —, Musterquerschnitte
 III 533, 534, 535
 —, Schleusenanlagen III 554
 —, Verbesserung. und Regelg.
 schiffb. Flüsse III 546

Flußbau, Vorarbeiten
 III 532
 —, Wehranlage . . III 550
 —, Wildbachverbauung
 III 544
Flüssige Brennstoffe
 I 498*, 499; II 793
 —, Feuerung . . . II 49, 793
Flüssigkeit, rotierende
 I 269
 —sbehälter, s. Behälter,
 Hochbehälter.
 —smafs I 1043*, 1051*
 —smessung I 337
 —, Spez. Gew. . . . I 637*
 —, Zähigkeit I 361, 362*, 400*
Flutkurve, —fläche (Ent-
wässerung) . . . III 739
 —welle, Geschwindigkeit
 III 595
Förderband, —gurt II 538
 —gefäß II 405, 447
 —haspel II 443, 444*
 —kette II 552
 —körbe II 447, 448*
 —mittel für Luftdruck-
 gründung . . . III 253
 —rinnen II 543
 —rohr II 537
 —seil I 832*
 —wagen II 448*
Fördermaschine, Berech-
nung II 453
 —, Bobine II 450, 1030
 —, Bremse II 465
 —, Dampf — m. Maschinen-
 antrieb ohne Ueber-
 setzung II 447
 —, Dampfkabel (Haspel)
 II 444*
 —, Dampfverbrauch II 459
 —, Dampfzylinder . II 470
 —, Einzelheiten . . II 470
 —, elektr. s. Elektr. Förder-
 maschinen . . . II 1029
 —, Förderarten, Seilaus-
 gleichung II 449
 —, Fördergefäße II 447, 448*
 —, Göpel u. Haspel II 442
 —, Kegeltrommel II 451, 1029
 —, Kleinere Dampf —
 II 443, 445
 —, Kondensation . II 453
 —, Seile u. Seilgeschwindig-
 keit II 443
 —, Seilscheibe . . . II 472
 —, Sicherheits- u. Regel-
 vorrichtungen . II 468
 —, Stauvorrichtung II 458
 —, Steuerung II 461
 —, Treibscheiben II 452, 472
 —, Triebwerk II 470
 —, Trommeln . . . II 449, 470
 —, Ventile II 463
 —, Vorgelegemaschinen
 II 442

Fördermaschine,
Zwillings-, Zwielylinder-
Verbund-, Zwillings-
tandemaschine

II 456, 457

Fördermittel für stückige,
körnige und mehlfeine
Schüttstoffe II 513, 514

—, Bahnen . . . II 515

—, Beliebige gerichtete

—, Dauerförderung II 552

—, Beliebige gerichtete För-

—, derung . . . II 531, 552

—, Dauerförderung II 534

—, Drehkrane . . . II 531

—, Eimerkettentrocken-

—, bagger . . . II 555, 559*

—, Einzelförderung in klei-

—, nen Mengen . . . II 514

—, Elevator . . . II 522, 548

—, Förderrinnen . . . II 543

—, Förderrohre . . . II 537

—, Geschwindigkeit wä-

—, rechter Förderer II 548*

—, Gurtförderer . . . II 538

—, Hochbahn-(Brücken-)

—, krane . . . II 531

—, Kratzer . . . II 545

—, Kurvenkipper . . . II 529

—, Rollenförderer . . . II 543

—, Rutschen, Fall-

—, Laufrohre . . . II 559

—, Saug- und Druckluft-

—, förderer . . . II 561

—, Saug- u. Druckwasser-

—, förderer . . . II 563

—, Schnecken . . . II 534

—, Schwebebahnen II 521

—, senkrechte oder stark

—, geneigte Dauerförderung

—, II 548

—, senkrechte oder stark

—, geneigte Fördg. II 521

—, Seilbahnkrane . . . II 533

—, Seil- und Kettenbahnen

—, II 516

—, Spiralen . . . II 535

—, Saufsche Fördervor-

—, richtung . . . II 537

—, wagerechte od. schwach

—, geneigte Dauerförderung

—, II 534, 543*

—, wagerechte od. schwach

—, geneigte Fördg. II 514

—, Waggonkipper . . . II 525

Förderung, Erd-

—, III 792*, 793*, 794

—, sarten . . . II 449

Formänderung, elastische

—, gerader Träger I 549

—, en, Gegenseitigkeit der

III 121

Formänderungsarbeit

—, I 551

—, im Stabwerk . . . III 140

Formänderungsarbeit,

Prinzip der kleinsten

III 139

Formeisen f. Schiff b. I 668*

—, faktor (Wechselstr.) II 871

—, maschinen, Sand- II 332

—, stücke f. Rohrleitungen

—, I 953*—361*

—, unbestimmte — eines

—, Bruches . . . I 69

—, verhältnisse von Schiffen

—, II 663, 664*

—, widerstand eingetauchter

—, Körper . . . I 365

Format, Stein- I 707 III 321

Förstersche Decke III 412

Foucault-Ströme . . . II 860

Fouriersche Reihen . . . I 128

Francis-Turbine . . . II 297,

300, 302

Fräser . . . II 347, 365

—, maschinen . . . II 364

—, maschinen, Holz- II 381

—, maschine, Räder- II 370

Freibord . . . II 655, 691

—, e Achse . . . I 223

—, er Fall . . . I 204, 1080*

—, lager . . . II 571, 572*

—, tragende Wände III 327

Fremderregung (Gleich-

—, stromdyn.) . . . II 885

Frequenz . . . I 128

—, Kreis- . . . I 205

—, Schwingungs- . . . I 205

—, (Wechselstr.) II 871, 983,

984*

Friktionskupplung s. Rei-

—, bungskupplung.

—, scheibe . . . I 813; II 387

Fuchs (Heizkanal). . . II 53

Führungsfläche, -Linie

—, I 212

—, kraft I 214

—, rolle, Tangential- (Gas-

—, behälter) . . . III 191

Fuhrwerk, Straß-

—, III 645*

—, — Arbeitsleistung der

—, Zugtiere . . . III 651

—, — Arten, Hauptabmes-

—, sungen . . . III 645

—, — bauliche Einzelheiten

—, III 646, 647*

—, — Bewegungswiderst. u.

—, Zugkraft III 648, 649*

—, Gewicht III 67, 648*

Füllrumpf . . . II 575

—, ung, Dampfmasch.-

—, II 117, 121*

—, verfahren (Abwasserreini-

—, gung) . . . III 761

Fundamentplatte, Eisen-

—, beton III 303

Fundierung s. Grundbau.

—, v. Entwässerungskämlen

III 753

Funkenbildung (Strom-

—, wender) II 899, 902, 905

—, fänger III 901

—, freie Kommutierg. II 905

—, spannung . . . II 902, 905

Funktion, Hyperbel- I 30*,

32*, 52, 65

—, m. 1 Veränderlich. I 69

—, m. 2 Veränderlich. I 70

—, irrationale . . . I 74

—, Kräfte- I 193

—, Kreis- I 26*, 52, 57, 58, 66

—, periodische . . . I 129

—, Potential- . . . I 199

—, rationale I 73

—, Störungs- I 84

—, transzendente . . . I 76

—, unentwickelte . . . I 70

—, zyklometrische s. Kreis-

Fußboden, Fabrik-

—, III 493, 941

—, gängerbrücke . . . III 65, 68

—, mafs I 1042*, 1046*, 1048*

—, pfund I 1057*

—, weg III 679

G.

g (Erdbeschl.) . . I 43*, 164

Gabbro I 698

Galileisches Gesetz d.

—, Schwere I 164

—, Trägheitsgesetz. I 164

Gallsche Kette . . . I 889*

Galvanisches Element

—, II 878, 879*

Gangspill II 710*

Gartenstadt III 698

Gasanalysator . . . II 326

—, Atomzahl. I 417, 418*

—, Ausdehnung d. Wärme

—, I 393

—, Bewegung in Rohr-

—, leitungen I 466

—, behälter, Führungsgest

—, III 191

—, behälter, Nietung I 780

—, dichte I 418*, 494*

—, Druck-anlage. II 289

—, Entropie I 417

—, Exponent zweiatomiger

—, Gase . . . I 424, 425, 426

—, feuerung II 44, 48

—, gemisch, Leucht-, Wärme-

—, theoretische Werte

—, II 254

—, gemisch, Verbrennung

—, I 493, 494*

—, generator II 289

—, glühlicht II 836, 855*

—, — Gasverbrauch II 852*

—, heizung III 443

—, Kohlenwasserstoff,

—, thermodyn. Werte

—, I 418*

—, konstante . . . I 416, 418*

Gaskonstante v. Mischungen
 —, Kraft—anlage . . . II 420
 —lampe . . . II 834, 836
 —leitung . . . I 466; II 288
 —, Leucht- I 492*, 493*, 494*, 496*; II 243, 251*, 836
 —, Löslichkeit in Wasser I 399*
 ——Luftgemisch, Explodierbarkeit . . . I 492
 —maschine, s. a. Verbrennungsmotor, Kreisprozess . . . I 427, 428*
 —messer . . . I 383
 —mischung (Thermodyn.) I 420; II 254
 —, Molekulargewicht I 416, 418*
 —motor, s. Verbrennungsmotor.
 —, Motoren . . . II 248
 —rohr I 966*
 —rohrgewinde . . . I 767*
 —, Saug—anlage . . . II 289
 —, spez. Gew. I 418*, 638*
 —, spez. Wärme I 416, 418*
 —strömung I 458
 —untersuchungsapparate II 326, 327
 —, unvollkommenes I 440
 —, Verbrennung I 489, 493, 494*
 —, Wasser-, Luft-, Azetylen-, Oel-, Fett- . . . II 838
 —, Zähigkeit I 400, 401*
Gas, vollkommenes, allgemeines . . . I 416
 —, Ausfluß . . . I 460
 —, Besondere Arbeitsprozesse . . . I 426
 —, Drosselung . . . I 472
 —, Expansionskurven I 423
 —, Mischungen . . . I 420
 —, spezifische Wärme I 417*, 418*
 —, Zustandsänderung I 423
 Gattersäge . . . II 377
Gaußsche Formeln (Kugeldreieck) I 64
 —y Satz (Vektorrechn.) I 123
 Gay-Lussacsches Gesetz I 342, 416
 Gebirgsflusbändigung III 545
Gebläse II 625
 —, Dampfstrahl- . . . II 653
 —, hydraul. Kompressor II 653
 —, Kapsel- . . . II 651, 652*
 —, Kolben- s. a. dort II 639
 —, Rad- II 626
 —, Schraubenrad- . . II 635
 —, Turbo- II 636
 —, Unterwind- . . . II 653

Gebrauchsmuster, Gesetz betr. Schutz von — n I 1076
Gebührenordnung f.
 Architekten u. Ingenieure . . . I 1060
 — für Zeugen u. Sachverständige . . . I 1078
Gedämpfte Schwingung I 205
Gefährlicher Querschnitt I 543, 565*
Gefälle s. a. Steigung.
 —bahn II 518
 —, Eisenbahn- III 772, 777
 —gewinnung . . . III 634
 —, Kanalisationsleitungen- III 749*
 —, Schüttrinnen- III 560*
 — (Wasserkraftanlage) III 626
 —wechsel (Eisenb.) III 777
 Gefäß, Festigkeit . . I 620
Gefriergründung III 260
 —punkt I 396, 397*
Gegengewicht, Lokomotivrad- III 909
 —seitigkeit der Formänderungen . . . III 121
 —seitigk. d. Spannen. I 596
 —strom (Wärme) . . . I 407
 —stromkondensation II 208
 Gegliederte Stützen, Knickfestigkeit . . . I 538
 Geländeaufnahme s. Triangulation.
Gelenkkette I 889*
 —lager (Hochbau) III 864
 Gelochtes Blech . . . I 676
Genauigkeit v. Beobachtungen . . . III 50
 —skoeffizient (Beobachtg.) I 86
 —smasse (Vermessungsk.) III 3, 19, 30, 37, 48, 50
 Geneigte Ebene (Schiffshebewerk) III 592
Generatorgas I 494*, 495*, 499; II 289
 —gas, Endtemperatur und Druckzunahme bei Verbrennung im geschloss. Raum I 495
 —gas, Verbrennung I 492*, 494*, 495*
 —senkbremse II 899
 Geodäsie s. Vermessungskunde III 1
Geoid III 1, 49
Geometrische Addition I 125
 —Bewegungslehre I 144
 —Geschwindigkeitszunahme I 208
 —Reihen I 56
Geradführung, Gelenk- I 950

Gerade Linie (Gleichg.) I 90
 —e Linie im Raume I 115, 116
Gerberbalken, Fachwerk- III 99, 1010, 1017
 —, vollwandiger . . . III 97
 Gerichtete Größe I 124, 165
 Gerinne, Ausflußsz. I 280
Geschichtete Körper, spez. Gew. u. Wagenladungen- I 638*
Geschiebewegung III 533
Geschützbronze . . . I 695
 —bronze, Festigkeitssz. I 514*
 —rohr, armiertes I 625
Geschwindigkeit I 144
 —, Fall- I 204, 1080*
 —, Flächen- I 203
 —, kritische (Grenz-) I 282, 294, 363; II 932
 —, lotrechte I 161
 —, Schiffs- . . . II 740, 742*
 —höhe I 204, 1080*
 —höhe (Hydr.) . . . I 282
 —höhe (Pitot-Röhre) I 385*
 —sparabel I 1035
 —splan I 161
 —splan (Dampfturb.) II 226
 —spotential (Hydr.) I 349
 —sris I 148
 —stufen an Werkzeugmaschinen II 352
 —stufen (Dampfturb.) II 228
 —ziffer (Flußbau) III 534
 —szunahme I 208
 —szustand I 161
 —, Umfangs- I 149
 —, Wechsel- d. Poles I 161
 —, Winkel- I 149, 151*
 —, Zusammensetzg. d. —en I 152
Gesichtsfeld III 13
Gesimse III 329
Gesperre I 906
Gesetz d. Schwere I 164, 196
Gestängeberechnung, Schiffsmaschine II 772, 774*
 —schloß I 755
 —, Wasserhaltungs- II 621
 Gestell, Verbrennungsmotor- II 268, 276
Getreidedruck I 568
 —mafs I 1043*
 —, Reibungswinkel II 560
 —speicher II 564
 Getriebe, Kraft- u. Arbeitsverhältnisse . . . I 249
Gewicht (Erkl.) . . . I 164
 —, Raum- I 638*; II 514*
 —, spezifisches I 638*
 —, Stau- II 514*
 Gewichtstafel verschiedener Länder I 1051*
Gewichte, s. a. Eigengewichte, spez. Gewicht,

Gewichte, Abflußrohre

- , I 964*
- , Brücken . . . III 1036
- , Brückenfahrbahngerippe
III 1080
- , Drahtseil- I 832*, 892*;
II 576*, 726*
- , Drahtseilscheiben I 833*
- , Drainrohr . . . III 608
- , geschweifste Rohre
I 966*, 967*
- , Gleichstromdynamo-
maschinen . . . II 916
- , Hanfseilscheiben I 836*
- , Heizungsrohr . III 446*
- , Kupfer-, Bronze-, Mess-
singrohr . I 970*, 973*
- , Lokomotiven III 893*
bis 897*
- , Lokomotivräder III 909
- , Lokomotivteile III 943*
- , Lokomotive (Zahnradb.)
III 968
- , Mannesmannrohr I 969
- , Mauerwerk . . . III 322
- , Metallplatten . I 641*
- , Riemenscheiben I 823*
- , Rohre . . . I 956*, 957*
- , Rohrformstücke I 960*,
961*
- , Schiffs- . . . II 720, 733*
- , Schiffsbesatzungen II 732
- , Schiffskesselanlagen
II 802*, 803
- , Schiffsmaschinenanlagen
II 801*, 803
- , Steinschlag . . III 663*
- , Straßenbahnwagen
II 1022*; III 646*
- , Vieh II 732*
- , Walznormprofile
I 656* u. f.
- , Warmwasserheizrohr
III 446

Gewindearten . . . I 760

—lastdruckbremse II 384,

402

—reibung I 257

—schneidmaschinen II 361

Gewölbe . . . III 211, 330

—, Abschätzung d. Gewölbe-

stärke III 211

—, Amtl. Gewicht. . III 57

—, Berechnung d. Stützlinie
III 216—, Einseitig belastetes
III 215, 221

—, Eisenbeton III 272, 301

—, Elastizitätstheorie III 217

—, Ermittlung der Span-

nungen III 223

—, gleichmäßig belastetes
III 215, 218

—, gemauertes, Ausführung

von Bogen III 331

—, Gewölbearten III 334

**Gewölbe, gemauertes,
Konstruktion** . . . III 330—, — Senkung d. Rüstungen
III 339

—, Gewölbeform u. Spann-

kräfte III 213

—, gewölbte Decken
III 408—411*

—, Kantenpressung III 216

—, Kappen- III 336, 408 bis
411*—, Kappen-, Inh., Oberfl.
I 140

—, Kloster- III 337

—, Kreuz- III 338

—, Kreuz-, Inh., Oberfl. I 140

—, Kuppel- III 337

—, mit schlaffer Bewehrung
(Eisenbeton) . . III 312—, mit steifen Einlagen
(Eisenbeton) . . III 315—, Mittelkraftpolygon und
Stützlinie . . . III 213

—, Stern- III 339

—, Tonnen- III 334

—, umgekehrtes . . . III 238

—, Widerlager . . . III 225

Gichtaufzug . . . II 524—gas, Verbrennung I 494*;
II 248, 251*—gas, Wärmeverlust durch
die Verbrennungsgase
I 487*

—seilbahn II 593

—Gießerei . . . I 652; III 947

Gips I 700

—diele I 712

—mörtel I 711

—Gittermast II 1002*

Glas I 724

—baustein I 728

—dach III 421

—, Festigkeitszahlen I 517

—, zuläss. Spannung. I 527

Gleasons Kegelraderhobel-

maschine II 374

Gleichgangkoeffizient

II 284*

—gewicht I 166

—gewicht der Kräfte I 169

—gewicht v. Gasballonen
I 345

—polmaschine II 920

—strom (Wärme) . . I 407

—stromdampfmaschine
II 138, 179

—stromverteilung II 977, 991

—stromturbo II 907

Gleichdruckmotor II 246,

256, 262

—turbine (Dampf) II 223,
783**Gleichstromdynamo-**

maschine II 883

—, Abmessungen u. Gewicht
II 915**Gleichstromdynamo-
maschine, Allgemeines**

II 883

—, Ankerberechnung II 894

—, Ankerwicklungen II 889

—, Berechnung . . . II 889

—, Berechnung d. Feld-

magnete, Magnetwick-

lung II 899

—, Betriebsverluste, Er-

wärmung II 911, 913*

—, Eigenschaften . . II 885

—, Erwärmung II 897, 902,
908, 911, 912

—, Fremderregung II 885

—, Hauptgleichungen II 883

—, Mech. Constr. . . II 910

—, Ohmsches Gesetz II 884*

—, Parallelschaltung II 959

—, Regelung . . . II 955, 959

—, Schaltung II 955

—, Schaltung d. Anker- u.
Schenkelwicklung II 883—, Stromwender u. Bürsten
II 907

—, Stromwendung II 902

Gleichstrommotor II 916—, Anlaßvorrichtungen
II 917

—, Regelung II 976

Gleichungen . . . I 50

—, Widerspruchs- . . III 19

Gleis, s. a. Weiche, Kreuz-

ung, Eisenbahnoberbau,

Drehscheibe, Schiene,

Spurweite.

—abzweigung III 826

—anlagen, Fabrik- III 506

—anordnung a. Bahnhöfen
III 835—anordnung f. Drehscheiben
III 842, 843*

—, Bau d. — III 798

—beleuchtung II 855, 856*

—e d. Abstellanlage III 840

—entfernung (abstand)
III 775, 776, 836

—kreuzung III 819, 824

—, Lage des — III 795

—lose Bahnen II 515

—neigung III 777

—plan III 823

—seilbahn II 516

—sperre III 834, 836

—, Straßenb. — II 1005

—verbindung III 823, 824

—verlegung, Straßenbahn
II 1013

—wage III 869, 944

—, Zahl u. Länge i. Ver-

schiebeanlagen III 841

Gleitbahn, Reibung I 933

—kurve I 160

—linie (Erddruck) III 203

Gleitmafs(-modul), (Festigkeitslehre) I 506, 507*
 --schuh, Kolbenstangen- I 920
 --verlust d. Zugmittel I 263
 Gliederriemen . . . I 823
 Glimmerschiefer . . . I 699
Glocke, Lampen- II 849*
 --metall I 695
 --stuhl I 225
 --ventil I 991
Glühfarben d. Eisens I 389
 --lampe, elektrische Kohlenfaden- II 839, 840
 -- elektr. Metallfaden- II 839, 841
 -- elektr. (Straßenbeleuchtung) . . . II 855*
 -- elektr., Stromverbrauch II 852*
 --lichtlampe . . II 834, 835, 836, 837
 --licht, Petroleum- II 835, 856*
 --licht, Spiritus- II 836, 856*
 Glyco-Metall . . . I 873
 Gneis I 698
 Goniometrische Lösung von Gleichg. I 51
 Gooch-Umsteuerung II 186
 Göpel II 2, 442
Graben, Abzug- III 604
 --, Entwässerungs- (Eisenbahn) III 787
 Gradient I 127
 Gradierwerk II 219
Granit I 698
 --, aml. Eigengewicht III 59
 --, Festigkeitsz. I 518*, 519
 --, zuläss. Beanspr. I 526; III 63
 Graphische Statik . . I 179
 Graphitschmierung I 749
 Grauwacke I 700
Gravitationsgesetz I 196
 --konstante I 196
 Greifer, Last- II 407, 408*, 409*, 523*
Grenzgeschwindigkeit wirbelfreier Strömung I 363*
 --kurve (Grenz Zustand) v. Dämpfen . . . I 431*
 --kurven für nassen Dampf I 434*, 439
 --länge gedrückter Stäbe I 534, 535*
 --regulierung III 26
 --spannung I 593, 596
 Grey-Träger I 655, 669*
 Grissongetriebe . . . I 789
 --Kupplung I 863, 864*
 Grobblech I 677*
 Gröfse, gerichtete I 124, 165
 Grofwasserraumkessel II 7, 8*
Grubenlokomotive II 516

Grubensellbahn . . III 970
 --, Kraftbedarf III 971
 --ventilator II 631, 634*, 635*
 --wagen II 530
 Grudekoks I 475
Grundbüchse I 921
 --lager II 773
 --mauer III 325
 --säge III 523
 --schwelle (Flufsb.) III 540
 --stellung des Lastenzuges (Lastscheide) . . III 89
 --stück, Zweckmäfsige Mafse für Bau- III 688
 --wasser III 699, 705, 708
 --wasserabdichtung I 734
 --wasserabsenkung III 531
 --zahlen d. Logarithmen I 48
Grundbau III 226
 --, Baggararbeiten . . III 228
 --, Baugrund I 527; III 229
 --, Berechnung von Bohlwerken und Verankerung III 232
 --, Brunnengründung III 246
 --, Einschliefung, Abdämmung, Trockenlegung d. Baugrube III 231
 --, Eisenbeton- III 303
 --, Gebäude auf Grubenboden, in Erdbebengebieten III 264
 --, Gefriergründung III 260
 --, Gründung a. Beton unter Wasser III 239
 --, Gründung a. schlechtem Baugrund III 237
 --, Kaimauern III 243, 264
 --, Kanalisations- . . . III 753
 --, Luftdruckgründ. III 251
 --, Mauer- u. Betonarbeiten III 228
 --, Pfahlrost III 240
 --, Rammarbeiten . . . III 226
 --, Schutz der Fundamente III 263
 --, Senkkasten u. Schwimmpfeiler III 245
 --, Steinkistenbau . . . III 262
 --, Steinschüttung . . . III 262
 --, Versteinerungsgründung III 262
 --, Wahl d. Gründungsart III 235
Gründungsarten III 235, 236*
 -- v. Drehkränen . . II 492
Gruppenantrieb, elektr. III 497
 --ventil I 992
 Guldinsche Regel . . I 141
 Gummiriemen I 824
 --ventilklappe I 994
Gurtförderer II 533; III 517
 --platte III 989
 --platte, Nietung III 1000

Gurtplatte, Stofs III 1002
 --platte, Widerstandsmoment III 990, 991*
 --spannkraft (Eisenbahnbrücke) III 79
 Gufsputzerei III 511
Gufseisen, Aml. Gewicht III 60
 --arten I 653*
 --, Festigkeitszahlen I 507*, 513*, 535*
 --platten, Gew. . . . I 641*
 --, zuläss. Beanspr. I 523*, 525*, 536; III 63, 81
 --, Zusammensetzung von Graugufs I 653
 Guttermventilklappe I 994
Güterschuppen . . . III 838
 --wagen III 925, 936
 Gut, stehendes u. laufendes (Schiffb.) II 706
 Guttapercha I 730

H.

Hackworth-Umsteuerung II 193
Hafen, Flufs- . . . III 556
 --, Kanal- III 575
 Haftfestigkeit (Eisenbeton) III 280
Hahn, Absperr- . . . I 998
 --, Widerstandsz. . . I 307*
Haken, Last- I 899, 901*; II 404
 --nagel III 802
 --platte III 804, 808, 809, 810*
 Halbgasfeuerung . . . II 48
Halde II 572*
 --ndrahtseilbahn . . . II 593
 Halladay-Rad II 4
 Hall-Anker II 708
Hallenbauten, Eisenbeton- III 300
 --beleuchtung II 854*
 --binder III 352
 --dach III 580
 Halszapfen I 845
 Halvor Bredasches Wasserenteisungsverfahren III 721
Haltepunkt (Eisenb.) III 833
Hammer, Dampf- III 837
 --werk I 652
 --, Wipp-, Feder-, Fall- II 335
 Handelsfabrikate d. Eisens I 653
Handkurbel I 938
 --läufer (—leisten) — Eisen I 663*
Handseil I 835*, 898*
 --, Arbeitsverlust I 263, 264
 --, Festigkeitszahlen I 521; II 726*

Hanfseilbetrieb I 834*;
 III 436
 —, Berechnung . . . I 839
 —, Kammerers Versuche
 I 840
Hangbau (Berieselg.) III 609
Hängebahn . . . II 521, 590
 —bahn, Elektro- . . . II 591
 —bahnschiene . . . II 590
 —lager . . . I 878, 879*
 —lager (Turbinen-) II 308
 —werk . . . III 197, 344
Harmonische Analyse
 I 128, 130
 — Schwingung I 128, 205
Hartgummi . . . I 685
 —guls I 633
 —lot I 697*
Härte d. Wassers III 700
 —n, Stahl I 647
 —skala für Eisen . . I 645*
 —skala, mineralogische I 698
Hartmannsche Doppelkegel-
Reibungskupplg. I 868
Hartung-Regler . . . I 1027
Harzöl I 685, 749
Häselersche Formeln (Zug-
 u. Druckspannung) I 552
Haspel II 442, 443
 —rad II 382
Haufenlager II 569
Hauptbahn III 773
 —dehnung I 544
 —fläche I 123
 —moment I 173
 —spannungen (Biegungs-
 festigkeit) I 544
 —spant II 655, 669
 —strommaschine
 II 883, 884*, 885
 —, Schaltg. u. Regelg.
 II 956
 —, Spannungserhöhg.
 II 956
 —strommotor II 917
 —system, statisch bestimm-
 tes u. unbestimmtes
 III 120, 122
 —tragheitsachsen I 220, 232
 —moment I 232
Hausschwamm I 737, 739
Hautereibung I 371
Hebemaschinen, s. a. Auf-
zug, Fördermaschine,
Fördermittel, Hebewerk,
Kran II 382
 —, Antrieb II 382
 —, Antrieb durch Verbren-
 nungsmotoren II 389
 —, Aufhängung der Last
 I 899; II 404
 —, Aufzüge s. dort II 413
 —, Bremsen s. dort II 383
 —, Brückenkrane . . . II 478
 —, Dampfantrieb . . . II 389
 —, Drehkrane s. dort II 483

Hebemaschinen, Druck-
luftantrieb II 391
 —, Druckwasserantr. II 391
 —, Elektr. Antrieb II 393
 —, Fördermaschinen s. dort
 II 442, 1029
 — für Bauzwecke . . . II 525
 —, Handantrieb . . . II 382
 —, Lastführung . . . II 409
 —, Laufkrane s. dort II 473
 —, Maschinenteile für I 884
 — mit unbegrenztem Ar-
 beitsfeld II 503
 —, Schwimmkranne II 502
 —, Stahlwerkskrane II 506
 —, Transmissionsantrieb
 II 387
 —, Wasser-, s. a. Hebewerke
 f. flüss. Körper, Pum-
 pen, Wasserhaltungs-
 maschinen III 599
 —, Winden II 410
Heber II 597
 —, Stofs II 598
 —leitung II 284
Hebewerke für flüssige
Körper II 596; III 599
 —, Dampfdruckpumpen
 II 597
 —, Heber II 597
 —, Kolbenpumpen, s. a. dort
 II 610
 —, Kreiselpumpen, s. a. dort
 II 599
 —, Pumpen, s. a. dort II 597
 —, Schöpfwerke . . . II 596;
 III 599
 —, Strahlpumpen . . . II 598
 —, Wasserhaltungsmaschi-
 nen, s. a. dort . . . II 619
Hebewerk, Schiffs- III 592
 —zeug II 382
Hefner-Kerze II 827, 828
Heißdampflokomotive
 III 916
 —dampfmaschine II 135, 146
 —laufen von Zapfen I 847,
 848, 849
 —luftmaschine, Kreisprozeß
 I 427
 —wasserheizung . . . III 451
Heizfläche, Kessel- II 41,
 43*, 65, 792; III 445, 889,
 890*, 962
 —fläche, Luftheizung III 456
 —fläche, Wärmeabgabe
 III 439
 —kammer, Luft- . . . III 484
 —kanal, Luft- III 457
 —körper III 439, 446, 499
 —rohr I 402, 408, 964, 966*;
 II 13, 37; III 446*
 —rohr, Lokomotiv- III 899
 —rohrkessel II 12*, 37, 98
Heizung III 436

Heizung, Aufsen- u. Raum-
temperaturen III 438*
 —, Dampf- III 451, 499
 —, Eisenbahn- III 934
 —, Eisenbahnwerkstatt-
 III 941
 —, elektrische III 444
 —, Fabrik- III 498
 —, Fernheizungen . . . III 461
 —, Gas- III 443
 —, Kamin- III 442
 —, Kanal- III 443
 —, Lokal- III 442
 —, Luft- III 455, 499
 —, Ofen- III 443, 498
 —, Petroleum- III 444
 —, stündl. Wärmeverlust
 geschloss. Räuml. III 436*
 —, Wärmeabgabe d. Heiz-
 flächen III 439*
 —, Wärmeverluste in Fa-
 briken III 500*
 —, Zentral-, s. dort III 444
 —, Zentralheizung in Ver-
 bindung mit Kraft-
 betrieben III 458
Heizwert I 480, 481*, 490;
 II 251*
 — flüssig. Brennstoffe I 498*,
 499*; II 251*
Heliotrop III 47
 —lith I 703
Hellegat II 702*
 —igkeit II 828
 —ingkrane II 531
 —ingseilbahn II 594
Hennebiquebau s. a. Eisen-
betonbau I 722
Hertzsche Gleichungen
 (Kugeldruck) I 529, 880
Henry II 857
Herzkurve I 110
 —stück (Weiche) . . . III 817
Heusinger-Umsteuerg. II 187
Heyland-Diagramm II 941
H-Fläche (Statik) III 113
Hill-Reibungskupplg. I 867*
Hinterdrehbank . . . II 361
H-Linie (Statik) III 112
 — (Zweigelenkbog.) III 168
 —, parabolische (versteifte
 Kette) III 180
 —, parabolische (Zweigelenk-
 bogen) III 169, 174
Hobelmash., Holz- II 380
 —maschinen, Metall- II 355
 —stahl II 345
Hochbahnkran II 531
 —bau III 320
 —bau, Dacheindeckungen s.
 a. Dach III 415
 —bau, Decken s. dort III 407
 —bau, Eisenkonstruktionen
 s. dort III 358
 —bau, Holzkonstruktionen
 s. dort III 339

Hochbau, Mauerwerk s. d.

- III 320
- bau, Nütungen . . . I 780
- bau, zulässige Beanspr. d. Baustoffe I 524; III 62
- bau, zulässige Belastungen u. Eigengewichte III 57
- behälter s. a. Behälter, Wasserturm . . . I 569; III 401, 722
- , Eisenbeton- III 304
- ofengas . . . I 500; II 252
- ofengas, Heizwert, Luftbedarf I 494; II 248, 251
- ofengebläse . . . II 639
- ofenschlacke . . . I 519
- Hodograph . . . I 148

Höhenformel (Luftdruck)

- I 342, 343*
- messung, barometrische III 32
- , geometrische III 26
- , Staffelmethode III 35
- , trigonometr. III 31

Hohlkugel, Festigkeit I 629

- rad (Zahnrad) I 789, 792
- zylinder, Festigkeit I 624
- zylinder, gegen Innendruck bewehrter I 625
- zylinder, ovaler, Festigkeit I 628

Holz als Ware. . . I 741

- arten, spez. Gewichte I 634
- balken, Querschnittermittlung I 589
- , Bau- I 741*, 742*, 743
- , Bau-, Abmessungen III 339

—, Eigengewichte (Amtl.) II 723*, 725*; III 59

- eisenkonstrukt. . . III 355
- , Festigkeitsz. I 517, 518*
- , Heizwert . . . I 475*
- kohle. I 475
- , Nutz- I 734
- pflaster III 677
- , physik. Eigensch. I 734
- querschwellen . . . III 802
- , Rund —, Gewicht II 725*
- , Schuttmittel . . . I 738
- , Schwinden und Quellen I 736, 737*
- verband III 340
- zahnrad I 803, 811
- zementdach III 420, 422, 477
- , Zerstörung des — I 736
- , zulässige Beanspr. I 526*, 536; III 63

Holzbearbeitungs-

- maschinen, Allgemeines II 376; III 507
- , Drehbänke . . . II 381
- , Fräsmaschinen. II 380
- , Hobelmaschinen II 381

Holzbearbeitungs-

- maschinen, Maschinen zur Locherzeugung II 382
- , Sägemaschinen. II 377
- , Schleifmaschinen II 381
- , Schutzvorrichtungen III 507

Holzkonstruktionen

- III 197, 339
- , Bauholzabmessungen III 339
- , Dachbinder mit 3 fächern Hängewerk . . . III 199
- , Dachverbände . . . III 344
- , Fachwerkwände III 353
- , Fattendach . . . III 198
- , Hänge- u. Sprengwerk III 197
- , Holzeisenkonstrukt. III 355
- , Holzverbände . . . III 340
- , Kehl balkendach III 199
- , Lehrbogen, — Gerüste III 354
- , Tragwerke . . . III 343
- , Verbundene Rüstungen III 353

Homogene Differential-

- gleichung I 82
- polare Dynamomaschine II 889

Hooke'sches Gesetz (Festigkeitslehre) . . . I 503**Horizontalschub (Bogen-träger) . . . III 112**

- alschub (Zweigelenkbogen) III 167
- alzug (Kette) III 116, 177
- korrektur III 32

Huberpresse . . . III 342**Hubmagnet . . . II 404, 861**

- ventil I 984
- ventil, gesteuertes I 992
- zähler II 331
- Hulettkran II 410
- Hilfszug III 870

Hüllbahn I 159**—kurve I 97****Hülseknüpfung . . . I 856****Huygenssche Traktorie I 113****Hydrant III 694, 733, 860****Hydraulische Hebe-**

- maschine II 391
- r Aufzug II 422
- r Druck und Arbeitsvermögen frei ausströmender Strahlen . . . I 318
- r Kalk I 713
- r Kompressor . . . II 653
- r Mörtel I 712
- r Radius I 310, 364
- r Regler I 1029
- r Widder II 598; III 733
- Hydrodynamik s. a. Dynamik tropfbar flüssiger Körper I 268

Hydrodynam. Seitendruck

- I 283
- mechanik I 265
- statik I 265
- statische Geschwindigkeitsmessung . . . I 384

—statischer Druck I 266**—stat. Seitendruck I 283****—statischer Stau . . . III 548****Hydrodynamik, theo-****retische, Bewegung d. vollkommenen Flüssigkeit I 349****—, Flügeltheorie, Kutta'sche Strömung I 355****—, Geschwindigkeitspotential I 349****—, Kennzeich. drehungs-freier Bewegung I 349****—, Kontinuitätsbeding., Druckgleichung I 350****—, Strahlbewegung I 358****—, Strömungen I 351, 352****—, Wirbel I 350****—, Zirkulation, dynam. Auftrieb bei ebenen Strömungen I 354****Hygiene der Beleuchtung****I 350****Hygrometer I 423****Hyperbel als Expansionskurve I 426****—funktionen I 30*, 32*, 52, 65, 79****—funktionen, Briggs'sche Logarithmen d. — I 32*, 34****—, Gleichungen. . . I 98, 99****—, Konstruktion . . . I 101****—rad I 795****Hyperbolische Spirale I 111****Hyperboloid I 123****Hyperozykloide . . . I 108****Hysteresis II 860*****—verlust (Gleichstromanker) II 897****I.****I-Eisen I 659*, 666*, 669*****I-Querschnitt I 539, 548, 553, 554, 590****Ideale Hauptspannung I 544****Ignor-Schwungrad II 1034****Imaginäre Größen I 47****Impedanz II 872****Imprägnieren v. Holz I 738****Impuls I 201, 218****—moment I 202, 216****—, Satz vom — . . . I 216****—schraube I 216****—starrer Körper . . . I 219****Indikator II 330****—diagramm I 416, 444****—, Torsions- II 328****Indizierter Schub (Schiffsschraube) II 754**

Indizierter Wirkungsgrad der Dampfmaschine . . . I 443
 — der Dampfturbine am Radumfang . . . II 226
 — d. Luftkompressors I 430
Indizierte Spannung (Luftpumpe) . . . II 643
Induktion . . . II 867
 —, gegenseitige . . . II 869
 —, in Dynamomaschine II 867
 —, Magnetische . . . II 859
 —, Selbst- . . . II 857, 868
 —smotor . . . II 839
 —sregler . . . II 852
Induktor . . . II 919
Induzierter Strom, Richtung II 870
Infusorienerde (Kieselgur) I 406, 470
Inglesfeld-Anker . . . II 708
Inhalt, Flächen- (Gleichg.) I 97, 133*
 —, Körper- . . . I 137
 —, Kreisflächen- . . . I 2*
 —, Kugel- . . . I 85*
Injector . . . II 599
Innenbeleuchtung II 852*
 —beleuchtung, Fabriken, Theater, Säle, Warenhäuser, Eisenbahnwag. II 853, 854
 —feuerung . . . II 13, 46
 —polmaschine . . . II 919
Integrale, bestimmte I 79
 —formeln . . . I 72, 79
Integration durch Reihenentwicklung . . . I 79
Integrator . . . II 674
Integrierender Faktor I 81
Intensität, Feld- . . . I 195
Interferenzerscheinung I 207
 —polationskurve . . . III 23
Intze-Behälter III 728, 857
Invariante . . . I 99
Inversion (Determin.) I 49
J-S-Diagramm (Entropie) I 416
Isodromregler . . . I 1030
Isolation, Wärme- I 471*, III 442*
 —smesser . . . II 976
Isolator, Porzellan- II 1008*
Isolierstoff, elektrischer I 729; II 923, 946
 —stoff, Wärmeleit. I 405*
 —ter Punkt . . . I 96
 —ung, Mauer- III 326, 328
Isotherme für Luft I 429*
 —vollkomm. Gase I 424
 —von Dämpfen . . . I 439

J.

Johnson- und Ostfeldsche Knieck-Formeln I 536

Joule II 857
 —sches Gesetz (Elektrot.) II 864
 —sches Gesetz (Gasenergie) I 416
Joysche Umsteuerung II 193

K.

Kabel (Haspel), s. a. Drahtseil, Seil . . . II 442
 —bahn . . . II 518
 —, Dampf- . . . II 444*
 —, elektr. II 987*, 988, 989*, 1004
 —hochbahn-Kran . . . II 532
 —winde . . . III 525
Kaimauern III 243, 264
 —, Eisenbeton- . . . III 303
Kaiser-Wilhelm-Kanal III 597
Kalibrierte Kette . . . I 887
Kalk, hydraulischer I 713
 —mörtel . . . I 709
 —sandstein . . . I 702
 —sandziegel . . . I 702
 —stein . . . I 699
 —stein, Festigkeitssz. I 519*
 —stein, Zuläss. Beanspr. I 526; III 64
 —, Wasser- . . . I 713
Kalorie I 893
 —meter II 327
 —metrische Bombe I 481
 —sche Maschine . . . I 427
Kaltdampfmaschine I 446
 —luftmasch., Kreisproz. I 427
Kältemaschine, Kälteleistung I 447, 454*, 455*
 —maschine, Kreisproz. u. Leistungsziffer I 427
 —maschine, Theorie I 446
 —mischungen . . . I 396*
Kameelhaarriemen I 824
Kaminheizung . . . III 442
 —kühler II 219
Kammrad I 803, 811
 —zapfen I 849
Kämpfer, s. a. Widerlager.
 —druck . . . I 182; III 111
 —drucklinie . . . III 112, 175
Kanalbrücke . . . III 311
 —, Eisenbeton- III 305, 306
 —, Fliesen in —en I 310
 —, gemauert . . . III 751
 —, Geschwindigkeiten und Gefälle . . . I 314
 —, Heiz- III 457
 —heizung III 443
 —isation, s. a. Städteentwässerung . . . III 735
 —isierung v. Flüssen III 547
 —, Luft- III 435
 —schieber . . . II 157, 778
 —, See- III 596
 —, Triebwerk- . . . III 628

Kanal, Turbinen- III 636
 —, Vorteilhaftester Querschnitt I 312; III 567
 —wage III 9
Kanalbau III 558
 —, Abmessungen neu ausgeführt und geplanter Kanäle III 569
 —, Binnenschiffahrtskanäle III 558
 —, Brücken . . . III 573, 574
 —, Fahrtgeschwindigkeiten III 561
 —, Hafen III 575
 —, Kanalbettlichtg. III 570
 —, Querschnitt der Kanalhaltungen . . . III 567
 —, Schiffswiderstand III 559
 —, Schleusen, s. dort III 572
 —, Speig. d. Kan. III 566
 —, Uferbefestigung III 571
 —, Vorarbeiten . . . III 561
 —, Wasserbedarf d. Kanäle III 565, 566
Kantenpressung (Spannungslinie) . . . III 210
Kaolin I 701
Kapazität, elektr. II 857, 865
 —, Akkumulator- . . . II 880
Kapillarität I 265
Kappengewölbe III 336, 408–411*
 —, Gewicht III 57
 —, Inh. u. Oberfl. I 140
Kapsches Phasenverschiebungsdigramm II 926
Kapselgebläse II 651, 652*
Kardantriebe . . . II 820
Kardioide I 110
Karte, Land- III 49
Kaskadenschaltung II 980
 —umformer II 954
Katarakt . . . I 1016; II 170
Kautschuk I 729
 —, Elastizitätssz. I 503
Kavalierverspektive I 142
Kegel I 123, 139
 —bremse I 905
 —feder I 617, 618*
 —, Mantelschwerpunkt I 193
 —, metrischer (Werkzeug) II 863
 —, Morse- II 362
 —motor (Windrad) II 3, 4
 —pendel I 212
 —rad I 794, 807
 —räderfräsmaschine II 373
 —räderröhbelm. II 372, 374
 —rad-Reibung . . . I 260
 —scheibenriementrieb I 821
 —schnitt (Gleichg.) I 93
 —, Schwerpunkt . . . I 194
 —stumpffeder . . . I 618*
 —, Trägheitsmoment I 239
 —trommel II 451, 470, 1029

- Kehlbalkendach . . . III 199
Keil I 138
 —kette, Wirkungsgrad I 250
 —rad I 813, 814
 —, Schwerpunkt . . . I 194
 —nutrad I 814; II 387
 —nutreibung . . . I 249, 814
 —verbindung I 753, 756*,
 757*, 759*
Keller III 928
Kennziffer d. Logarithm. I 48
Keramoplatte I 728
Kern eines Querschnittes
 (Theorie) I 594
 —, Schornstein- II 60*, 61*
 —punkt III 209
Kernpunktmoment, Span-
nungsermittlung in
Stützmauern . . . III 209
 —momente, Zweigelenk-
 bogen III 174
Kessel s. a. Dampfkessel.
 —bekleidung, Lokomotiv-
 (Isolation) III 904
 —blechstärke II 27, 28*
 —blech, Ueberpreise f. Grob-
 bleche, Böden usw. II 114
 —blech, Vorschriften II 87
 —boden, Festigkeit I 69, 100;
 II 96, 98, 99, 123
 —boden, Ueberpreis II 115
 —, Heizungs- III 445, 451
 —nfutung I 775; II 27, 28*
 —schmiede III 945
 —speisewasser II 68; III 855
 —steinverhütung . . . II 68
 —, Warmwasserheizungs-
 III 445
Kette I 884, 886*, 888*, 889*
 —, Anker- II 709, 726
 —, Arbeitsverlust . . . I 263
 —, Förder- II 552
 —, Gallische I 889*
 —, kalibrierte II 517, 518
 —, Platten- III 517
 —, Rundenisen- I 884, 886*
 —, Treib- I 843*
 —, versteifte III 115
 —, versteifte — durch ein-
 fachen Balken III 177
 —, versteifte — durch Paral-
 lelträger III 179
 —, versteifte — durch voll-
 wandigen Balken III 180
 —nbahn II 517, 518
 —nkreifer II 407, 408*, 409*
 —nkasten, Schiffs- II 702*
 —nlinie I 113
 —npumpe II 596
 —nrad I 887, 888*, 890
 —nrolle, — Trommel I 886
 —nrost II 48
 —nsäge II 382
 —nung (Hebezeug) II 386
Kies I 701
 —strafse III 668
Kieselgur I 406, 701
 —isolation I 470*
Kilogrammgewicht I 165
 —masse I 166
 —meter, Vergleichstafel
 I 1057*
Kilowatt II 857
 —stunde I 201
Kimmersente . . . II 669, 670*
Kinematische Geometrie
 I 159
Kinetische Energie I 193
 — eines Gases I 413
Kipper, Kurven- . . . II 529
 —er, Waggon- II 525
 —karre II 515
 —kübel II 405, 406*
 —lager I 177
 —lager (Brückenb.) III 1037
 —regel III 40, 49
 —wagen II 515, 520*
Kirchdach, -Turm III 192, 380
Kirchhofsche Gesetze
 (Stromverzweigung)
 II 862, 874
 —scher Satz (Temperatur-
 strahlung) II 826
 —sches Strahlungsgesetz
 I 409
Kirsche Formel (Schiffs-
 widerstand) II 746
Kitt I 732
Klammer, Mauerwerk-
 III 320
Klappen, Schiffs- II 711*
Klappmulde II 405, 406*
 —tor, Schleusen- . . . III 585
Klappenventil I 993
 —ventil, Luftpumpe II 215
 —ventil, Widerstandsz. I 307
 —wehr III 554
Klärbecken (Trinkwasser)
 III 716
 —ung der Abwässer III 758
Kleinesche Decke III 407, 411
Kleinkessel, s. a. Dampf-
kessel, Heizung II 23, 84;
 III 445, 451, 462, 464
 —kessel f. Dampftriebwagen
 III 922
 —pflasterstrafse . . . III 669
 —triangulation III 20
 —, Flächeninhaltsermit-
 lung III 23
 —, Flächenteilg., Grenz-
 regulierung III 26
 —, Punktbestimmg. III 21
Kleinsches Verbindungs-
stück I 949
K-Linie, Culmannsche (Erd-
 druck) III 202
Klemmplatte (Schienenbe-
 festigung) III 809, 810*
Kletterweiche III 818
 —zahnstange (Zahnradbahn)
 III 955
Klinkengesperre . . . I 906
 —er I 707
Klosett, Schiffs- . . . II 713*
Klosterformat I 708;
 III 321
 —gewölbe III 337
Klugsche Umsteuerg. II 192
Knickfestigkeit gerader
 Stäbe I 533
 —spannung, zulässige I 534,
 535*, 536
Knierohr I 970*; II 203
Knochsche Isolationsmasse
 I 470*
Knotenpunkt (Tragwerk),
 II 740; III 1029
 —, Winkeländerung am
 steifen — III 136
 —, verschiebung III 117
Kochsalzlösung, spezifische
Wärme I 395*
Koenesche Decke III 297,
 410, 414
Koepemaschine II 1029
 —scheibe II 452, 472
Koerzitivkraft II 860*
Kohle s. a. Braunkohle.
 Steinkohle . . . I 474, 476
 —breiverfahren (Klärung d.
 Abwässer) III 760
 —, Lagerung III 860
 —nbunker (Schiffb.) II 701
 —nfadenlampe II 840
 —nkipper II 528
 —nverbrauch, -versorgung
 d. Bahnhöfe III 860
Kohlensäure, Aggregat-
formänderung I 398
 — als Verbrennungsprodukt
 I 483
 —ausscheidung d. Menschen
 u. Beleuchtung III 424*
 —dampf, adiabatische Kom-
 pression trocken gesät-
 tigten — I 454*
 —entwicklg. verschiedener
 Lichtquellen II 850*
 —, krit. Zustand I 431*
 —, Löslichkeit im Wasser
 I 399
 —masch., Kälteleistg. I 455*
 —, Rauminhalt bei verschie-
 denen Temperaturen u.
 Drücken I 448*
 —, spez. Gewicht I 638
 —, spezifische Wärme I 417
 —, thermodyn. Werte I 417*,
 418*, 453*
 —, Zähigkeit I 401
Kohlenstoff I 631
 —stahl, hochwertiger, Festig-
 keitszahlen I 508*
 —, Wärmeverlust durch die
 Verbrennungsgase I 487
Kohlenwasserstoff als
Brennstoff I 489

Kohlenwasserstoff,

- Heizwert I 479, 481*
- , krit. Zust. . . . I 481*
- , thermodyn. Werte I 418*, 498
- Kohlmetzdecke . . . III 414
- Koje, Schiffs- II 712, 727
- Koks** I 479
- ofengas, Heizwert, Luftbedarf II 251
- Kolben** I 909, 910
- , Automobil- . . . II 813
- , Berechnung . . . I 913
- , beschleunigung . . I 980
- , beschleunigungsdruck I 931
- , dichtung . . . I 309, 909
- , druck, Verbrennungsmotor II 275
- , gebläse, Abmessungen II 639, 640*
- , —, Anordnung, Antrieb, Regulierung . . II 649
- , —, Arbeitsbedarf II 641, 644
- , —, Kraftverhältnis II 645
- , —, Steuerg., Ventile II 645
- , —, Wirkungsgrad II 644
- , —, geschwindigkeit . . I 929
- , —, der Dampfmaschinen II 120*
- , —, d. Luftpumpe II 215
- , —, f. Schiffs- u. Masch. II 766*
- , Lokomotiv- . . . III 906
- , ring I 912
- , ring, Verbrennungsmotor II 279
- , —, Schiffs- u. Maschinen- II 771
- , stange . . I 909, 917, 918;
- , —, II 772, III 906
- , stange, Befestigung I 917, 949
- , stange, Berechnung I 918
- , Uebersetzungs- . . II 424
- , Verbrennungsmotor II 277
- , weg . . . I 927, II 155*
- Kolbenpumpe** . . . II 610;
- , —, III 601
- , Abmessungen, Arbeitsbedarf II 615
- , Anordnung . . . II 616
- , Antrieb, Regelung II 618
- , Druckwirkung . . II 613
- , Saugwirkung . . II 610
- , Teile II 615
- Kolb-Turbine . . . II 245
- Kollektor** . . . II 907, 908
- , erwärmung . . . II 908
- Kollimationsachse** III 13
- , fehler III 14
- Kolmation III 603
- Kombinationen . . . I 48
- Kommutator . . . II 902, 907
- Kommutierung, funkenfreie II 905

Kompensationsrohr

- I 970*, II 203
- , wicklung II 906
- Komplane Bewegung I 163
- Komplexe Größe . . I 47
- Komponente I 168
- Komposition (Lagermetall) I 696
- Kompression** (Dampf- u. II 138
- , Kreisprozeß I 428, 429*
- , (Verbrennungsmotor) II 259
- Kompressor**, s. a. Gebläse II 625, 636, 639
- , arbeit d. Kältemasch. I 449
- , für Luftdruckgründung III 256
- , hydraulischer . . II 653
- , Stufen- II 643
- Komprimierte Welle I 855
- Konchoide** I 114
- , nlenker I 951
- Kondensation**, Dampf- u. II 207
- , v. Fördermasch. II 458
- , in Rohrleitungen I 470*
- , Luftpumpe II 213
- , Misch- II 208
- , Oberflächen- . . II 210
- , Rückkühlanlagen II 219
- , Schiffs- u. Maschinen- II 779
- , Strahl- II 212
- , swasserleitung, III 453
- Kondensator**, Dampf- u. II 208, 210, 212, 779
- , (Elektr.) II 865, 874
- Kondenstopf s. Wasserabscheider.
- Konglomerate . . . I 700
- Konischer Stift . . . I 759*
- Konjugierte Durchm. I 100
- Konkavität einer Kurve I 96
- Konsistentes Fett I 745, 749
- Konsollager I 880
- Konstruktions- u. Wasserlinie C W L II 654, 655, 669
- Kontinuitätsbedingung** f. vollkommene Flüssigkeiten I 350
- , gleichung I 269
- Kontinuierlicher**
- Träger, s. a. Balken auf mehreren Stützen I 585, 587*; III 146
- , Stützenmom. III 146, 157
- , Verbiegung III 146
- Kontraktion** . . . I 358
- , Strahl- I 270
- Kontrollflansch (Dampf- u. II 83
- Konvexität einer Kurve I 96
- Konveyor II 552
- Koordinaten** . . . I 90, 92
- , Aufnahme rechtwinkl. (Vermessungsk.) III 4

Koordinaten, Raum- I 115

- , system, Rechts-, Links- I 174
- , Umwandlung der — I 192
- , Umwandlung d. Raum- I 118
- , verallgemeinerte I 220
- Korbbogen** . . . III 330
- , Absteckung III 45
- Korkisolation** . . I 470*
- , stein I 704
- , stein, Festigkeitsz. I 519
- Körper**, ausbalancierte I 223
- , Bewegung starrer — I 218, 220
- , geringsten Luftwiderstandes I 872
- , inhalt I 137*
- , Oberfläche I 137*
- , Schwerpunktlage I 193
- , starrer, s. Starrer Körper I 220
- , Trägheitsmoment I 231, 239*
- Kraft** (Erkl.) . . . I 164
- , (Dynamik) I 195
- , antrieb I 202
- , band I 824
- , Beschleunigungs- I 215
- , Coriolis- I 214
- , eck I 180
- , Effektiv- I 215
- , Einheit der — I 165, 166
- , einschalter (Regler) II 312
- , feld I 195
- , fluß I 195
- , Führungs- I 214
- , gas, Heizwert, Luftbedarf II 251
- , gasanlagen II 288
- , gasmotor II 267*
- , lebendige I 198, 212, 217, 218
- , linie I 195, 545, 546
- , linie, —, dichte, magnetische II 859
- , maschinenkupplung I 870
- , messung II 327
- , Mittel- I 168
- , moment I 169, 182
- , Relativ- I 214
- , richtung (Elektr.) II 870
- , Schwer- I 164
- , steuerung II 194
- , übertragung III 638
- , versorgung, Werkstatt- III 943
- , wagen, Zuglast . . . III 650
- , wagenstahl I 508*
- , werk III 635, 637*, 942
- , werkgebäude III 634, 637*
- , werk, Straßensbahn- I 1015
- , zahnrad I 800

Kraftzerlegung im Raum

- III 185
- , Zusammensetzung, Zerlegung, Gleichgewicht der — . . . I 168, 179
- , Zusatz- . . . I 214

Kräfte am starren Körper

- I 167
- an einem Punkt I 168
- an gestützt. Körper I 177
- dreieck . . . I 180
- freie Bewegung . I 216
- funktion . . . I 198
- , Mittelpunkt der Parallelen I 187
- mit verschiedenen Angriffspunkten I 172, 179
- paar . . . I 169
- plan, Cremonascher I 186; III 94
- systeme, Gleichgewichtsbedingungsbeziehungen I 174
- zerlegung, graph. I 183
- zug . . . I 180
- , Zusammensetzung d. — im Raume . . I 173
- , Zwangs- . . . I 210

Kraftmaschinen

- II 1
- , Belebte Motoren II 1
- , Dampfkessel . . II 6
- , Dampfmaschinen II 116
- , Dampfturbinen II 220
- , Meßinstrumente für Kraftwerke . . II 321
- , Verbrennungsmotoren II 245
- , Wassermotoren II 290
- , Windräder . . II 2
- , Krafts Steuerung (Fördermaschinen) II 462
- , Kragdach . . . III 379
- , träger . . . III 1010

Kran, Anordnung in Fabriken

- III 486
- , Bau- . . . III 526
- , Block- II 508*, 509*, 512
- , Brücken- — s. dort II 478, 531
- , Dreh- — s. dort II 483, 531
- , elektrischer Gieß- und Stahlwerks- . . II 506
- , Fahrbarer Turm- II 500
- , gerüst (Statik) . III 182
- , Gieße- . . II 506, 507*
- , gleisträger, Querschnittsermittlung I 571, 572*
- , Hochbahn- . . II 531
- , Kabelhochbahn- II 532
- , Lauf- s. dort . II 473
- , Mulden- . . II 508*, 511
- , Portal- . . . II 500
- , Schiffsdampf- . II 711*
- , Schwenk- . . . III 527
- , Schwimm- . . II 502

Kran, Stahlwerks-

- II 506
- , Stripper- . . II 510*, 512
- , stützen . . . III 486
- , Temperley- . . II 532
- , träger I 571; II 475, 481; III 110
- , Wasser- . . . III 859
- , Wipp- . . . II 494
- , Zweirad- . . . II 501
- , Krängungsversuch II 676
- , Kreis, Gleichg. . I 98, 99
- , abschnitt, Fläch.-Inh. I 36*, 135
- , —, Schwerpunkt I 192
- , —, Trägheitsmom. I 238
- , ausschnitt (Fläch.-Inh.) I 37, 135
- , —, Schwerpunkt I 192
- , —, Trägheitsmom. I 238
- , bogen, Abstecken von — III 41
- , —, Länge u. Höhe I 36*
- , —, Länge f. d. Halb. I 38*
- , —, Schwerpunkt I 191
- , —, Trägheitsmom. I 236
- , elbewegung . . I 226
- , el, Einschienenbahn- I 230
- , elkondensator . II 213
- , el, Schiffs- . . . I 230
- , elpumpe II 599, 787; III 531, 600
- , —, Berechnung II 603, 609*
- , —, Konstruktion II 599
- , —, ende Bewegung . I 149
- , —, evolvente . . . I 110
- , —, fläche, Inh. . . I 2*, 135
- , —, Trägheitsmom. I 237
- , —, förmiger Querschnitt, Drehmoment I 589, 591
- , —, frequenz . . . I 205
- , —, funktionen I 26*, 52, 57, 58, 66
- , —, Reihen für die I 57
- , —, kegel . . . I 139
- , —, Kern des — . I 595
- , —, Krümmungs- . I 95
- , —, linie, Trägheitsmom. I 236
- , —, prozess . . . I 426
- , —, Gleichdruckmot. II 256
- , —, Indizierte Wärmearbeit . . . II 257
- , —, Verpuffungsmot. II 254
- , —, Randspannung . I 610
- , —, ring, Drehmoment I 599, 591
- , —, ringfläche, Trägheitsmoment . . . I 238
- , —, ring, Fläch.-Inh. I 135
- , —, ring, Kern . . . I 596
- , —, ring, Trägheits- u. Widerstandsmom. I 554, 557*
- , —, ringstück, Schwerpunkt I 193
- , —, säge . . . II 368, 507

Kreissäge, Holz- . II 377

- , schere . . . II 344
- , —, Sehnenlänge . I 36*
- , —, seiltrieb- . . . I 838
- , —, steilstück, Fl.-Inh. I 136*
- , —, Trägheits- und Widerstandsmom. I 554, 556*
- , —, transporteur . . II 521
- , —, umfang . . . I 2*
- , —, Wechsel- . . . I 162
- , —, Wende- . . . I 161
- , —, zylinder, Druck zwischen zwei — . . . I 530
- , Kreuzgelenkupplung I 859, 860*
- , —, gewölbe . . . III 338
- , —, gewölbe (J u. O) I 140
- , —, kopf I 946; II 772; III 907
- , —, kopfzapfen . . . I 847
- , —, kopf, Zapfenreibung I 933
- , —, zung, Eisenbahn- III 815, 819, 824, 835
- , —, verband, eiserner III 396
- , Kriterium für ungünstigste Laststellung (einfacher Balken) . . . III 85
- , Kritische Geschwindigkeit (Grenz-) I 282, 294, 363; II 932
- , —, r Druck . . . I 431*
- , —, s Druckverhältnis (Luft-) I 387
- , —, Temperatur . . I 431*
- , —, Kröhnke-Filter . . III 720
- , —, Kronendach . . III 418, 422
- , —, Krumme Linie (Gleichg.) I 93
- , —, Fläche . . . I 121
- , —, Krümmung d. Kurve I 95
- , —, krummer Flächen I 122
- , —, sebene . . . I 119
- , —, shalbmesser . I 95, 120
- , —, — v. Eisenb. . III 776
- , —, d. Landstrafs. III 655
- , —, d. Zahnradb. III 954
- , —, v. Strafsenb. II 1006
- , —, skreis . . . I 95
- , —, smafs . . . I 122
- , —, smitelpunkt I 95, 120
- , —, widerstand (Eisenbahn) III 770
- , —, Kübel . . . I 140; II 522
- , —, Kipp- . . . II 405, 406*
- , —, Kubikwurzeln . . I 2, 43
- , —, Kubische Parabel I 105, 582
- , —, Kubizierapparat (Luftmessung) . . . I 383
- , —, Küche, Schiffs- . . II 727*
- , —, Kugel . . . I 139
- , —, abschnitt, Schwerpkt. I 194
- , —, — Trägheitsmom. I 240
- , —, ausschnitt, Schwerpunkt I 194
- , —, — Trägheitsmom. I 240
- , —, dreieck . . . I 63
- , —, druck . . . I 529

Kugelgesperre . . . I 908
 —, Gleichg. der — . . . I 124
 —, Hohl-, Festigkeit I 629
 —inhalt . . . I 35*, 139
 —lager . . . I 157, 880
 —lagerreibung . . . I 255
 —, Stahl-, Festigkeit u.
 zuläss. Bel. . . I 880
 —, Trägheitsmoment I 240
 —zone, —haube, Schwer-
 punkt . . . I 198
 —zweieck . . . I 139
Kühlanlagen, Rück- II 219
 —fläche, spezifische
 (Dynamomasch.) II 914
 —kurve (Dynamom.) II 912
 —raumtemperatur . II 701*
 —teich . . . II 219
 —wasserbedarf d. Motoren
 II 250
 —wassermenge für Kon-
 densation des Dampfes
 II 208
Kühlung, Transformator-
 II 951
 —, Zylinder- d. Automobile
 II 814
 —, — der Luftfahrz. II 816
 —, — d. Verbrennungsmot.,
 II 286
Kulisse, Wasserrad- II 293
Kulissensteuerung
 II 121*, 122*, 124*, 128*,
 183, 461; III 907
 —, Aufhängung d. Kulissen
 u. Schieber Schubstangen
 II 189
 — f. Fördermasch. II 461
 —, Füllungsungleich II 190
 —, Konstruktive Ausbil-
 dung . . . II 190
Kunstbronze . . . I 695
 —stein . . . I 720
 —sandstein . . . I 702
Kunststrafe, Durchlässe,
 Baumpflanzungen,
 Sicherheitsanlagen
 III 685
 —, Entwurf . . . III 683
 —, Lage und Gefälle des
 Straßenzuges . III 684
 —, Preufs. Bestimmungen
 III 684
 —, Straßenanlage . III 684
Kupfer . . . I 631, 635, 691
 —, Amtl. Gewicht III 60
 —blech . . . I 692
 —dach . . . III 419, 422
 —draht s. a. elektr. Leitg.
 I 640*, 692
 —draht, elektr. Leitungswiderstand . II 863
 —, Festigkeitszahlen I 514*,
 515*, 521*
 —ne Schlange . . . I 973*
 —platte, Gewicht . I 641*

Kupferrohr . . . I 692, 969,
 970—973*
 —rohr, umwickeltes I 975
 —, zulässig. Spanng. I 523*
Kuppeldach III 188, 849
 —dach, Eisenkonstr. III 390
 —, Eisenbeton- . . . III 302
 —gewölbe . . . III 337
 —, Hänge- . . . III 338
 —radsatz . . . III 907
 —stange, Lokomotiv- I 942;
 III 907
Kupplung . . . I 856
 —, Ausdehnungs- I 858, 859*
 —, Automobilgetriebe II 817
 —, Baumgartner — I 864
 —, bewegliche . . . I 858
 —, Bürsten- . . . I 864
 —, ein- und ausrückbare
 I 864, 865
 —, Eisenbahn- . . . III 875
 —, elastische . . . I 860
 —, elastische Bolzen- I 861,
 862*
 —, elastische Zahn- I 862,
 863*
 —, elektromagnetische
 Friktions- . . . I 870
 —, feste . . . I 856
 —, gelenkige Sechskant-
 I 860
 —, Grisson- . . . I 863, 864*
 —, Hülssen- . . . I 856
 —, Kraftmaschinen- I 870
 —, Kreuzgelenk- I 859, 860*
 —, Kurbelwellen- . II 775
 —, nachgiebige Stabfeder-
 I 864
 —, Reibungs- I 866*, 867*,
 868, 870; II 388
 —, Ringrutsch- (Zahnradb.)
 III 964
 —, Schalen- . . . I 856
 —, Scheiben- . . . I 857*
 —, Seilbahn- . . . II 587
 —, Sellers- . . . I 858*
 —, Tender- . . . III 914
 —, Zahn- (Hildebrandt)
 I 865, 866*
 —, Zentrator- . . . I 816
 —, Zodel-Voith- I 860, 861*
Kurbel I 933, 934; II 582
 —druck (Diagramm) I 1004
 —getriebe, Verbrennungs-
 motor . . . II 279
 —, Hand- . . . I 938
 —kröpfung . . . I 935
 —lager, Dampfmasch.- II 205
 —lagerdruck . . . I 932
 —schleife . . . I 938
 —, Sicherheits- I 908; II 383
 —stange . . . I 940; II 773;
 III 907
 —welle I 935, 937; II 774
 —, Automobil- . II 811
 —, Verbrennungsm. II 279

Kurbelwelle, Zapfen-
 reibung . . . I 933
 —winkel u. Kolbenwege
 II 155*
 —zapfen . . . I 847, 933
 —, Reibung . . . I 933
 —, Verbrennungsm. II 280
Kurbeltrieb . . . I 927
 —, Arbeitsverhältnisse
 I 931, 932
 —, Bewegungsverhältnisse
 I 927
 —, Gelenkgeradfürungen
 I 950
 —, Kraftverhältnisse I 931
 —, Kurbel u. Exzenter I 936
 —, Kreuzköpfe . . . I 946
 —massendruck . . . I 1007
 —, Reibungsverhältn. I 933
 —, Schubstangen I 940
Kurve doppelt Krümmung
 I 119
 —, einhüllende . . . I 97
 —, Gleichg. der — . . . I 93
 —, Herz- . . . I 110
 —, Leit- . . . I 159
 —nabsteckung . . . III 40
 —nblatt (Schiff b.) . II 661
 —n-Schwerpunkt . . I 191
 —, Pol- . . . I 159
 —, Roll- . . . I 160
 —, Stern- . . . I 110
 —, System- . . . I 159
 —, zyklische . . . I 107
Kurzschlussanker II 939
 —senkbremse . . . II 399
 —spannung . . . II 902, 904
 Kuttasche Strömung I 355

L.

L-Eisen I 656*, 658*, 664*
 665*
 —, Querschnitt I 554, 590
 λ (Weisbachsche Zahl) I 293
Labyrinthdichtung
 I 310, 909, II 229
Ladeanlage (Eisenb.)
 III 838, 839
 —baum (Schiffb.) . II 706
 —gewicht f. Fuhrwerk
 III 647*
 —kran (Eisenb.) . . . III 839
 —luke, Schiffs- . . . II 712
 —mafs (Eisenb.) . . . III 839
 —n einer Batterie . II 957
 —rad (Schiffb.) . . . II 707*
 —rampe III 839
 —raum (Schiffb.)
 II 694*, 703*, 704*
 —spannung II 961
 —winde, Schiffs- . . . II 711*
Ladung, Akkumulatoren-
 II 882, 957
 — (Elektr.) II 865
 —sgewichte I 639*

Lageplan III 1
Lager, Brücken- III 1035
 —, bewegliches III 1040
 —, Dampfmasch. — Kurbel-
 lager II 205
 —entfernung (Triebwerk-
 welle) I 853
 —, Gelenk- (Hochb.) III 364
 —, Grund- (Schiff) II 773
 —, Hänge- I 878, 879*
 —, Kipp- I 177
 —, Konsol- I 880
 —, Kugel- I 157, 880
 —metall I 696
 —reaktion I 167
 —reibung I 251
 —, Rollen- I 884
 —schale I 872, 873
 —, Sellers- I 876, 877* 878*
 —, Steh- I 874, 875* 876*
 —, Turbinen- II 303
 —, Wellen- I 872
**Lagermittel für körnige
 Stoffe** II 513, 564
 —, Bodenspeicher II 464
 —, Freilager II 571
 —, Füllrumpf, Tasche II 575
 —, Gebäudelager II 564
 —, Haufenlager, Taschen
 II 569
 —, Hochbehälter II 569
 —, Silo- od. Zellspeicher
 II 565
 —, Tiefbehälter II 575
 Lagrangesche Gleichg. I 220
 Lambertisches Strahlungs-
 gesetz I 409
Lampen, Anordng. II 853
 —, elektr. Bogenlampe mit
 Kohleelektroden II 842
 —, elektr. Bogenlampe mit
 Metallelektroden II 847
 —, elektrische Glüh- II 839
 —, elektrische Quecksilber-
 dampf- II 847
 — f. flüssige Brennstoffe
 II 834, 835
 — f. Steinkohlengas II 834,
 836
 — f. verschiedene Gasarten
 II 833
 — für Leuchtöle II 836
 —, Moorerlicht II 848
 —, Reflektoren u. Glocken
 II 849
 Lancashire-Zusatzmaschine
 II 963
Landestriangulation
 III 46
 —, Basismessung III 48
 —, Meßtischblätter III 40, 49
 —, Netzbedingungs-
 gleichungen III 47
 Landkarte III 49
 Landsbergische Formeln
 (Zugspannung) I 531

Landsee Nulllinien-
 ermittlung I 593
 —r Trägheitskreis I 235
 —s Spannungsermittlungs-
 verfahren I 546
Landstrafe, s. a. Kunst-
 strafe III 653
 —, Allgemeine Anordnung
 III 654
 —, Baumpflanzungen III 658
 —, Baustoffe III 662, 663*
 —, Breite III 656
 —, Einfriedigungen III 659
 —, Entwässerung III 658
 —, Kiesstraßen III 668
 —, Krümmungshalbmesser
 III 655
 —, Linienführung III 653
 —, n-Brücke III 65
 —, Nebenanlagen III 670
 —, Oberbau d. Schotter-
 straßen III 660
 —, Pflasterstraßen III 668
 —, Stoffbedarf der Schotter-
 straßen III 663*
 —, Steigungsverhältnisse
 III 655
 —, Teermakadam III 668
 —, Unterbau III 659
 —, Unterhaltung III 666
 —, Walzen III 664
 —, Wirtschaftliche Linien-
 führung III 653
 Landungssteg III 312
**Landwirtschaftlicher
 Wasserbau**, Bewässe-
 rung III 608
 —, Deichbau III 611
 —, Drainagen III 604
 —, Entwässerung d. offene
 Gräben III 608
 — — d. Versenken III 602
 — mit Masch. III 599
 —, Entwässerungsanlagen
 III 599
Längenänderung (Festig-
 keitslehre) I 502
 —änderung, Arbeitsver-
 mögen I 505
 —maß I 1050*
 —messung III 2
 —, Genauigkeit III 3
Langlochbohrmaschinen,
 Holz- II 382
 —fräsmasch. (Metall-) II 368
 Langschwelle III 814
Längsbauten (Flußb.)
 III 538
 —keil I 755
Laschenleitung II 778;
 II 28*, 32
 —nschraube III 811
 —, Schienen- III 811, 814*
 Lastdruckbremse II 388
 —drucksenkbremse II 401
 —enanizug II 414, 428, 429

Lastenzug III 71, 79, 81, 82
 —baken I 899, 901*; II 404
 —scheide III 89
 —, Tau- II 702*
Laterne (Kuppeld.) III 189
 —, Straßen- III 694
Laufachse, verschiebbare
 Lokomotiv- III 913
 —kran- II 473, 479*
 —, Bau- III 529
 —, Hubwerk II 473
 —, Kranfahrwerk II 477
 —, Laufwinde II 473, 475,
 478, 504
 —, Schienen II 474*
 —, Träger II 475
 —steg I 580
 —welle (Schiff-) II 776
 Lavalturbine II 232, 233*,
 235*
Lebendige Kraft I 198,
 212
 — der Massenpunktgruppe
 I 217
 — starrer Körper I 219, 221
 Leckrechnung II 680, 686
Lederriemen, Festigkeits-
 zahlen I 521
 —stulp (Manschette) I 309,
 909
 —stulpreibung I 247, 910
 —treibriemen I 750
 Leer- (Los-) Scheibe I 830
 Legierungen I 694
Lehmmörtel I 709
 —steine I 701
Lehrbogen, Gerüste III 354
 —en, Blech- u. Draht-
 I 642, 690
 Leibungsdruck I 781;
 III 62, 76
 Leinwanddach III 421
Leistung I 200
 — bewegter starrer Körper
 I 221
 —, elektrische II 857, 864
 —, menschliche II 1, 2*;
 III 322*, 791*, 792*
 —, tierische II 2*; III 651,
 793
 —sfaktor (Elektr.) II 873
 —smessung II 527
 —quotient I 221
 —regler I 1019
 —versuche a. Dampfkesseln
 u. Maschinen II 103
 —, zeichn. Darst. I 201
 —sziffer, Kältem. I 427, 447
Leiterzahnstange (Zahnrad-
 bahn) III 953
 —linie (Kegelschnitt) I 88
 — (Lade-) -rad (Schiffb.)
 II 707*
 —rad (Turb.) II 305
 —strahlen I 100
 —werk (Flußbau). III 538

Leitung, Druckrohr- (Entwässerung) . . . III 756
 —, Durchfluß durch Rohr-
 — en . . . I 281
 —, elektr., s. elektr. Leitung
 II 985
 —, Entwässerungs- III 749
 —, Heizrohr- III 446*, 447,
 452, 454, 465
 —smast II 1000, 1002*,
 III 634
 —squerschnitt, Dampf-,
 zweckmäßigster I 470
 —swiderstand, elektr. II 862,
 863*, 864*, 990
 —, Wärme- . . . I 401
 —, Wasser- III 729, 857, 941
 —, Wasser- f. Kraftanlagen
 III 631
Lemniskate . . . I 114
Lemniskoidenlenker I 952
Lenix-Spannrolle . . I 823
Lenkachse . . . III 931
 —er . . . I 950
 —ersteuerung . . . II 191
 —ersteuerung (Förder-
 maschine) . . . II 462
 —ung, Automobil- II 822
 —Lenzsteuerung . . II 171
Lenzleitung . . . II 791
 —pumpe . . . II 788
Leonardschaltg. II 978, 1031
Letternmetall . . . I 697
Leuchtgas, Endtempera-
 —ur u. Druckzunahme
 — bei Verbrennung im
 — geschloss. Raum I 496*
 —, Heizwert, Luftbedarf
 II 250
 —motor s. a. Verbrennungs-
 motor . . . II 267*, 268
 —, spez. Gew. . . I 638
 —, Verbrennung . . I 492*,
 493*, 494*, 496*
Leuchtkraft . . . II 827
Libelle . . . III 9
Lichtabgabe . . . II 828
 —einheit . . . II 828
 —empfindlichkeit des
 menschl. Auges II 826
 —intensität . . . II 827
 —messung . . . II 830
 —stärke, Berechnung II 831
 —stärke, erforderl. II 852*
 —stärkenmessung II 827, 828
 —stärke verschiedener
 Lichtquellen II 850*
 —strom (-fluß, -menge)
 II 828
Liderung I 909, 912, 921, 922
Lieferungsgrad d. Luft-
 —kompressors . . I 430
 — d. Luftpumpe . . II 641
Lieferungsvorschriften
 s. a. Amtl. Vorschriften.

Lieferungsvorschriften
 Eisenkonstr., Brücken,
 Hochbau . . . I 782
 — für Eisen u. Stahl I 683
 — für Schmieröle . . I 750
 —, Portlandzement I 714, 716
 —, Reinigung u. Anstrich
 v. Eisenkonstrukt. I 686
 —, Ueberpreis v. Grobblech.,
 Böden usw. . . II 114
 —, Material f. Kessel II 85
Limbus . . . III 14
Lineare, Differential-
 —gleichung . . . I 81, 84
 —s Voreilen . . . II 150
Linie, gerade (Gleichg.)
 I 90, 115, 116
 —, gerade, Trägheitsmoment
 I 236
 —, krumme (Gleichg.) I 93,
 119
 —nris . . . II 656, 668
 —n, Trägheitsmomente I 236
 —, Schwerpunktlagen I 190
Linoleum . . . I 704
Linse . . . III 11
 —, Dichtungs- . . . III 904
Lipowitz-Metall . . I 697
Lippenventil . . . I 995
Lochbohrer . . . II 848
 —ersche Zahnstange (Zahn-
 radbahn) . . . III 954
 —leibungsdruck, zuläss.
 I 781; III 62, 76
 —maschinen . . . II 343
Logarithmen . . . I 48
 —, Briggsche — der Hyper-
 belfunktionen I 82*, 84*
 — der Hyperbelfunkt. I 82*
 —, Mantissen d. Briggschen
 I 24*
 —, nat. I 2*
Logarithmische Reihen
 I 57
 —s Dekrement der Schwin-
 gung I 206
 — Spirale I 112
Logleine II 740
Lokalbahn III 778
Lokomotive III 886
 —, Achse I 847, 987
 —, Anfahrvorrichtung für
 Verbund- . . . III 916
 —, Beispiel einer —, Be-
 rechnung . . . III 917
 —, Bezeichnung . . . III 886
 —, Breiten- u. Höhenmaße
 III 887
 —, Bremse III 881
 —, C: H III 890
 —, Dampfrohr . . . III 904
 —, Dampfspannung III 899
 —, Dom III 899
 —, Drehgestell III 911, 913
 —, Drehscheibe . . . III 846
 —, elektrische . . . II 516

Lokomotive, elektrische
 Zahnradbahn- III 962
 —, Feuerbüchse u. Mantel
 III 891
 —, Gegengewicht . . III 909
 —, Gestell III 911
 —, Gewichte III 894—897*
 —, Gewichte f. Brückenbau
 (s. a. Lastenzug) III 82
 —, Gewichte von -teilen
 III 943*
 —, Gewichtsverteilg. III 914
 —, Gruben- II 516
 —, Hauptabmessung ausge-
 führter f. Normalspur-
 III 893*—895*
 —, Hauptabmessung ausge-
 führter Schmalspur-
 III 896*, 897*
 —, Heißdampf- . . . III 916
 —, Heizrohre III 899
 —, Jährl. Leistung III 937
 —, Kessel, s. a. Dampfkessel
 III 889
 —, Kesselausrüstung III 901
 —, Kesselbekleidg. III 904
 —, Kohlenverbrauch III 860
 —, Kolben I 914; III 906
 —, Kreuzkopf I 943; III 907
 —, Kuppelstange . . I 942
 —, Langkessel . . . III 898
 —, Maschinensteuerung
 III 907
 —, Maschinenzugkraft,
 Leistung III 904
 —, Maschinenzyl. . . III 906
 —, $N: H$ III 890
 —, Prüfung u. Untersuchung
 III 919
 —, Räder III 908
 —, Radstand III 912
 —, Rahmen III 911
 —, Rauchkammer . . III 900
 —, Regler III 903
 —, Rost- u. Heizfläche
 III 889, 890*, 891*
 —, schmalspurige II 516;
 III 896
 —, Schornstein . . . III 900
 —, Schubstange . . . I 941
 —, Schuppen III 862
 —, Sicherheitsventil III 902
 —, Speisevorrichtg. III 901
 —, Speisewasser . . . III 855
 —, Tender III 918
 —, Tenderkupplung, Bahn-
 rümer, Bremse III 914
 —, Tragfedern u. Ausgleich-
 hebel III 914
 —, Trieb- u. Kuppelradsätze,
 Gegengewichte III 907
 —, Verbund- III 915
 —, verschiebb. Laufachsen
 u. Drehgestelle III 913
 —, — Treibachsen III 912
 —, Verschub- II 516

Lokomotive, Wasser-
bedarf . . . III 854
—, Wasserstandzeiger
III 902
—, Werkstatt . . . III 944
—, Widerstandszahlen
III 769
— (Zahnradb.) . . . III 958
—, Gewicht . . . III 968
—, Heizfläche, Rostfläche
III 962
—, Sicherheitsank. III 967
—, Zugkraft, Leist. III 967
Löschgrube . . . III 866
—rad . . . II 707*
Lösung v. Gasen in Wasser
I 399*
Lot . . . I 696*, 697*
—gabel . . . III 8
Löten, elektr. . . II 864
Löwenherzgewinde I 760,
768*
Luft, Ausflußformeln I 886,
463
—bedarf f. Verbrenng. I 482
—bedarf verschiedener
Lichtquellen . II 850*
—befeuchtung . . . III 434
—, Drosselung . . . I 472
—druck . . . III 83
—druck im offenen u. ge-
schlossenen Luftraum
I 342, 343*
—druckbremse . . . III 883
—druckgründung . . . III 251
—druckgründung, Sicher-
heitsmittel . . . III 253
—druckgründung, Taucher-
glockengründung II 259
—erwärmung f. Lüftung
III 434
—fahrzeugmotor . . . II 816
—, feuchte I 421, 422*, 423
—filter . . . III 433
—gas (Aerogen, Benoidgas)
I 501; II 838
—heizung . . . III 455, 499
—, isothermische und adia-
batische Kompression
II 641*
—, Kohlensäuregehalt
II 850*; III 424*
—kompression, Kreisprozefs
I 428, 429*
—kompressor I 428; II 625
—leitung . . . I 469
—, Löslichkeit im Wasser
I 399
—messung, Geschwindig-
keitsmessung . I 384
—, stat. Raummessg. I 383
—, Dynamische Raum-
messung . . . I 385
—, mittelfeuchte . II 640*
—mörtel . . . I 709
—pumpe II 213, 639, 785

Luftpumpe für Luftdruck-
gründung . . . III 256
—reibung . . . I 371
—reinigung . . . III 433
—saugebremse . . . III 884
—schicht, Wärmeübergang
I 402
—schleuse III 251, 253, 258
—, spez. Gewicht I 418, 638
—, spez. Gewicht mittel-
feuchter —. . . II 640*
—, spez. Rauminhalt mittel-
feuchter —. . . II 640*
—, Strömung . . . I 458
—, Strömung in Rohr-
leitungen . I 466, 469
—, thermodyn. Werte
I 418*
—, trockene, spez. Gew.
I 638
—überschuß (Verbrennung)
I 482
—waschen . . . III 434
—wechsel, allgemeine An-
nahmen . . . III 426*
— auf Schiffen II 714*
—, Erzielung des — III 427
—, Gröfse des — III 424
—, Notwendigk. III 423
—, stündlicher, bei be-
stimmtem Kohlensäure-
gehalt . . . III 426*
—, stündl. — für 1000
abzuführ. WE III 425*
—widerstand I 204, 364,
368, 371, 374*, II 807
— v. Eisenbahnen III 769
— von Flügeln I 379
— von Geschossen I 348
— Wasserdampfmischung
I 421, 422*
—, Zähigkeit . . . I 401
—, Zusammensetzung I 482
Lüftung, s. a. Luftwech-
sel III 423
—, Ausführung v. Lüftungs-
Anlagen . . . III 433
—, Bedienung d. Lüftungs-
Anlagen . . . III 435
— durch Temperaturdiffe-
renz . . . III 428
—, Druckverhältn. im ge-
schlossenen Raum III 427
—, Eisenbahn- . . . III 935
—, Eisenbahnwerkstatt
III 941
—, Fabrik- . . . III 501
—, Gröfse d. Luftwechsels
III 424
—, künstliche . . . III 428
—, Luftbefeuchtung, Er-
wärmung . . . III 434
—, Luftentnahme u. Reini-
gung . . . III 433
— mittels Prefs- bzw. Saug-
köpfe . . . III 431

Lüftung mit Ventilatoren
III 431
—, natürliche . . . III 427
—, Schiffs- . . . II 714*
—, Zu- und Abluftkanäle
III 435
Lumen . . . II 828
Lupe . . . III 12
Lux . . . II 828, 829*
—ferprisma . . . I 727

M.

Maclaurinsche Reihen I 68
Magnalium . . . I 697
—, Festigkeitssz. I 517, 521*
Magnesium . I 631, 635
—, Festigkeitsszahlen I 517
Magnetbremse . II 397
—, Bremsluft- II 398*, 404*
—, Feld- . . . II 899
—gestell der Gleichstrom-
dynamom. II 900, 909
—maschine . . . II 884*
—pol . . . II 859
—rad . . . II 919
—senkbremse . II 400, 403
—, Tragkraft . . . II 404
—, Tragkraft . . . II 861
—wicklung (Gleichstrom)
II 899, 901, 910, 958
Magnetische Induktion
II 859
—es Feld II 859, 866, 923
—r Kreis . . . II 861
—r Widerstand . II 861
Magnetisierungskurve
II 859
—ierungstafel . . . II 900*
—mus . . . II 859
Magnetomotorische Kraft
II 861
Makadamstraße . III 661
—straße, Teer- . . III 668
—, Zement- . . . III 675
Mammutpumpe . . II 597
Mangan . . . I 631, 635
—bronze, Festigkeit I 514*
—Siliciumstahl, Festig-
keitszahlen . . . I 512*
Mannesmannrohr I 968, 969*
Mannloch . . . II 39, 103
Manometer I 337; II 77, 82,
83, 321; III 902
Mansarddach III 300, 347,
348, 384
Manschette . . . I 309, 909
Mantisse d. Logarithmen
I 24*, 48
Marine-Kessel II 798, 799*
Mariottesches Gesetz I 342,
416
Marshall-Umsteuerung
II 192
Marx-Steuerung . . II 175

Maschinenteile, Achsen
 und Wellen . . . I 850
 —, Bremsen . . . I 901
 —, d. drehenden Bewegung
 I 784
 —, Drahtseile . . I 881, 890
 —, für Hebemaschinen I 884
 —, Gelenkgeradföhrungen
 I 950
 —, Gesperre . . . I 906
 —, Hanfseile . . . I 898
 —, Hanfseil- u. Baumwoll-
 seilbetrieb . . . I 834*
 —, Hilfsmittel z. Verbindg.
 v. Maschinenteilen I 753
 —, Keile . . . I 753
 —, Ketten . . . I 843, 884
 —, Kolben, Kolbenstangen,
 Stopfbüchsen . . I 909
 —, Kupplungen . . I 856
 —, Kurbeltrieb . . I 927
 —, Lager . . . I 872
 —, Lasthaken I 899; II 404
 —, Niete . . . I 772
 —, Reib- u. Kellräder I 813
 —, regelnde . . . I 999
 —, Riemen- u. Seilbetrieb
 I 816, 831
 —, Schrauben . . . I 759
 —, Sperradbremsen . I 908
 —, Treibketten . . . I 843
 —, Zahnräder . . . I 884
 —, Zapfen . . . I 845
 —, z. Aufnahme u. Fortleitg.
 v. Flüssigkeiten I 954
Maßeinheiten, elektrische
 II 857*, 858
 —einheiten für Laderäume
 II 704*
 —einheiten (Vermessungsk.)
 III 2
 —e und Gewichte verschiede-
 neder Länder I 1050*
 —stab von Biegungslinien
 III 129
 —system, absolutes (C-G-S-
 System) I 166; II 857
 —, physikalisches I 166
 —, technisches I 165
 —vergleichstafeln I 1042 bis
 1049, 1056
 —verwandlg. I 1044*, 1056*
Masse, Einheit der I 166
 — (Erkl.) . . . I 165
 —anziehung . . . I 195
 —ausgleich (Schiffsmasch.)
 II 766
 —nberechnung (Bahnbau)
 III 784, 785*
 —ndruck, Kurbeltrieb-
 I 1007, 1008
 —nermittlung (Eisenbahn-
 bau) . . . III 781, 784
 —nkraft . . . I 195
 —nprofil (Eisenbahnbau)
 III 784

Massentransport s. a.
 Fördermittel II 513, 514
 —nverteilung (Eisenbahn-
 bau) . . . III 784, 785*
 —nwuchtdiagramm I 1011,
 1013
 —, Reduktion d. —n I 222
 —, reduzierte (Kurbeltrieb)
 I 1012
Massenpunkt, Bewegung
 durch Kräfte . . I 204
 —, Eigenschwingung I 207
 —, freie geradlinige Bewe-
 gung . . . I 204
 —, freie krummlinige Be-
 wegung . . . I 208
 —, unfreie Bewegung I 210
Massenpunktgruppe,
 d'Alembertsches Prinzip
 I 214
 —, Impuls, Drall, Trägheits-
 gesetz . . . I 215
 —, lebendige Kraft u. Arbeit
 I 217
 —, Lagrangesche Gleichun-
 gen . . . I 220
 —, Schwerpunktsätze I 216
 —, starrer Punkthaufen, Ar-
 beit d. äußeren Kräfte,
 lebendige Kraft, Impuls,
 Drall . . . I 218
Mast . . . II 725
 —enkrän . . . III 529*
 —, Eisenbeton- . . III 319
 —enzubehör II 705, 706*
 —, Leitungen- II 1000, 1002*
Mathematik . . . I 1
Mathematischer Pendel I 213
Mauerfraß . . . I 701
 —steine . . . I 707
 —, Stütz- . . . III 788
 —, Trocken- . . . III 789
Mauerwerk . . . III 320
 —, Beton- . . . III 320
 —, Bruchstein- . . III 320
 —, Eisenbetonmauern
 III 302
 —, Fachwerkwände III 327,
 353
 —, freistehende Mauern
 III 325
 —, Gesimse . . . III 329
 —, Gew. (amtl.) III 59, 322
 —, Gewölbe . . . III 330
 —, Keller . . . III 328
 —, Kessel- . . . II 50
 —, Materialbedarf . III 322
 —, Maueröffnung . III 329
 —, Mauerwerkarten III 320
 —, Mauerstärken III 323,
 325*
 —, Mörtel . . . III 321
 —, Quader- . . . III 320
 —, Rauchröhren, Schorn-
 steine . . . III 327
 —, Steinverbände . III 323

Mauerwerk, Ziegel-III 321
 —, zulässige Beanspr.
 I 526*; III 64
Maurertagewerk . . III 322
Maxima u. Minima I 69
Maxwellscher Satz (Gegen-
 seitigkeit d. Formände-
 rungen) . . . III 121
Mechanik luftförmiger
Körper, Allgemeines
 I 341
 —, Dynamik s. a. dort I 347
 —, Geschwindigkeits- und
 Mengemessung I 333
 —, Statik . . . I 342
Mechanik starrer
Körper . . . I 144
 —, Dynamik . . . I 195
 —, geom. Bewegungslehre
 I 144
 —, physikalische Mechanik
 I 164
 —, Statik . . . I 166
Mechanik tropfbar
flüssiger Körper,
 Dynamik . . . I 268
 —, Statik . . . I 265
Mechanisches Wärmeäqui-
valent . . . I 413
Meerseilbahn . . . II 594
Mehrphasenmaschine
 II 919, 925, 933, 963,
 967, 969
 —strom II 876, 945, 952, 963
Meile . . . I 1043*
Melms & Pfenninger-
Turbine . . . II 243
Membranpumpe . . III 530
Mensch, Ausstattung und
Ausdüstung . III 424*
 —, Kraft und Leistung
 III, 2, III 322*, 791*,
 792*
 —engedrange . . . III 68
 —, Wärmeabgabe . III 423
 —, Wasserdampfabtschel-
 dung . . . III 424
Mergel . . . I 699
Messband, -kette, -rad III 3
 —geräte (Vermessungsk.)
 III 2, 8
 —instrumente, elektr. II 975
 —instrumente für Kraft-
 werke . . . II 321
 —instrumente, Höhen-
 III 27
 —instrumente, Winkel-
 III 14
 —tischblatt . . . III 40, 49
 —verfahren (Schiffb.) II 692
 —ung, Flüssigkeits- I 337
Messing . . . I 694
 —, Festigkeitszahlen
 I 514*, 515*, 521*
 —draht, Gewicht . . I 640*
 —platte, Gewicht . . I 641*

Messingrohr I 969, 972*
Metall (Stoffkunde) I 640*
 —, amtl. Gewicht III 60
 —, spez. Gewichte I 641*
 —barometer . . . III 33
 —fadenlampe . . . II 841
 —legierung . . . I 694
 —liderung . . . I 912, 922
 —platten, Gewichte verschieden . . . I 641*
 —rohr . . . I 969
 —schlauch . . . I 983
 —überzug . . . I 684
 —zement, Festigkeit I 517
Metallbearbeitungs-
maschinen . . . II 332
 —, Lochmaschinen und
 Scheren . . . II 343
 —, Pressen . . . II 341
 —, Richt- und Biegemasch.
 . . . II 340
 —, Sandformmasch. II 332
 —, Schmiedemasch. II 333
 —, Spanabhebende — II 345
Metazentrische Höhe
 . . . II 672, 673*
 —um . . . I 267, II 656, 659
 —um von Gasballonen I 847
Meterkerze . . . II 828
 —kilogramm, Vergleichs-
 tafel . . . I 1057*
 Methode der kleinsten Qua-
 drate . . . I 87, III 49
 Meunierscher Satz (Schiefer
 Schnitt) . . . I 122
 Meyersteuerung . . . II 163
Middendorfsche For-
meln, Tafeln für Ein-
 trittswinkel für ζ , ϵ ,
 γ , ν . . . II 748–750*
 — (Schiffswiderstand) II 747
 Mikroskop . . . III 13
 Militärperspektive . . I 142
 Mineralog. Härteskala I 698
 Mineralöl . . . I 747
 Minima . . . I 69
 Minimum d. Deformations-
 arb. i. Stabwerk III 142
Mischgas . . . I 495; II 838
 —kondensation . . . II 208
 —maschine f. Mörtel und
 Beton . . . III 523
Mischung, Gas- . . I 420;
 . . . II 254
 —temperatur . . . I 396*
 —v. Luft u. Wasserdampf
 . . . I 421, 422*
Mittelachse, verschiebbare
 . . . III 981
 —kraft . . . I 168
 —kraftlinie (Seileck) I 182
 —punktläche . . . I 123
 —schiene (Zahnrd.) III 951
 M-Linie (Statik) I 540; III 99
Modellregel (Hydr.) I 327

Modellschleppversuch
 (Schiffb.) II 744, 745*
Mohrsche Nulliniernmitt-
lung . . . I 592
 —s Durchbiegungsermitt-
 lungsverfahren I 550
 —s Spannungsermittlungs-
 verfahren . . . I 601
 —r Trägheitskreis I 235
 Moivrescher Satz . . I 47
Molekulargewicht I 630*
 —flüssiger Brennstoffe
 . . . I 498*
 —, scheinbares . . . I 420
 —vollkommener Gase
 . . . I 416, 418*
 —von Gasen . . . I 494*
 Molekularwärme I 485*, 486*
Momentanstofs . . I 241
 —, Deviations- . . I 232
 —enkurve . . . III 84
 —ensatz . . . I 172
 —, Haupt- . . . I 173
 —, Impuls- . . . I 202
 —, Kraft- . . . I 169, 182
 —, statisches . . . I 188
 —, T — (kontinuierlicher
 Träger) . . . III 150
 —, Trägheits- . . I 231
 —vektor . . . I 170
Monelmetall, Festigkeits-
zahlen . . . I 515
Monierbaus. a. Eisenbeton-
bau . . . I 722
 —decke . . . III 297, 410*
 —wand . . . III 327
Monozyklisches System
 (Wechselstrom) II 877
Monteju . . . II 597
Moorelicht . . . II 848
 —, Stromverbrauch II 852*
 Morsekegel . . . II 362*
Mörtel . . . I 709; III 321
 —, Elastizitätsm. I 519*, 520*
 —, Festigkeitsz. I 518*, 519*
 —, Luft- . . . I 709
 —, mischmaschine . . III 523
 —, Wasser- . . I 712, 717
Moseleysche Stabilitäts-
formel . . . II 671
Motor, belebter II 1, 2*
 —bootmaschine . . II 815
 —droschke, vorgeschr. Maße
 . . . II 806
 —fahrzeug . . . II 804
 —gerade (Regler) . . I 1035
 —wagen, elektrische II 824,
 . . . 1019
Muffendruck (Regler) I 1017
 —verbind. I 957, 963; III 631
Mulde, Klapp- II 405, 406*
 —nkipper . . . II 520*
 —nkran . . . II 508*, 511
Müller-Breslausches Ver-
fahren (Berechnung d.
 ω -Gewichte) . . . III 131

Müllersche Schieberdia-
gramm II 152, 153, 162
Mundstück (Ausflussszahlen)
 . . . I 280, 317
Munition, Schiffs-
 . . . II 731*
Muntzmetall (Festigkeitsz.)
 . . . I 515
Münztafel . . . I 1037*
Muschelkurve . . . I 114
 —schieber . . . II 151
Mutterschraube . . I 761*
 —, Schrauben-, Gewicht
 . . . I 762*, 768

N.

Nabe, Riemenscheiben-
 . . . I 830
 —, Zahnrad . . . I 810
 Nadelwehr . . . III 552
Nagel . . . I 679, 683
 Näherungswerte . . I 53
Naphthalin, thermodyn.
Werte . . . I 498*
Naviersche Knickformel
 . . . I 537
Nebenbahn . . . III 773
 —schlußmaschine II 883,
 . . . 884*, 886
 —schlußmaschine, Schal-
 tung u. Regelung II 955
 —schlußmotor . . . II 916
 Neperische Analogien I 64
 Nernstlampe . . . II 842
Netzbedingungsgleichung
 (Vermessungsk.) III 47
 —, Entwässerungskanal-
 . . . III 735
 —schaltung . . . II 877
 —, Wasserleitungs- III 730
N: H (Lokomotive) III 890*
Neusilber . . . I 697
Neutrale Achse, Biegungs-
festigkeit . . . I 541
 — Faserschicht . . I 541
Newtons Ähnlichkeits-
gesetz (Hydr.) . . I 327
 —sches Gesetz der Schwere
 . . . I 164, 196
 —sches Potential . . I 200
 —sches Verfahren (Gleichg.)
 . . . I 54
Nickel . . . I 632, 635
 —stahl . . . I 644*
 —stahl, Festigkeitszahlen
 . . . I 507*, 509*
 —stahl, Chrom-, Festigkeits-
 zahlen . . . I 510*
Niederschlagshöhe
 . . . III 703, 737, 738*
 —menge III 604, 618, 620*
Niet . . . I 679, 772
 —arbeit . . . III 359
 —beanspruchung b. Stoßver-
 bindgen. III 1004, 1005*

Nieteisen, Vorschr. II 89, 92
 —, Gewichte eiserner Schließköpfe . . I 773*
 —, Gewichte schwefeliserener — II 723*
 —maschinen II 839
 —tafel für Winkeleisen III 935*
 —verbindung III 77, 359
Nietung beim Brückenbau III 983
 —, Berechnung I 774
 —, Brücken-, zulässige Beanspruchung . . III 76
 —, Dampfkessel-I 775; II 27
 — für Brücken u. Hochbau . . I 780
 — für Flüssigkeits- u. Gasbehälter I 780
 —, Gurt III 1000
 — für Maschinenteile I 783
 —, Kessel II 27, 28*
 —, Laschen-I 778; II 34*, 35*
 —, Ueberlappungs- I 777; II 34*, 35*
 — v. Eisenkonstrukt., Ministerialverfügung . I 773
Niklausse-Kessel II 798, 799*
Niveau III 9
 —fläche I 195
 —fläche (Hydrostat.) I 266
Nivellement III 27
 —splan III 1
Nivellierinstrum. III 27
 —latte III 28
 —methoden III 28
 —ungsarbeiten III 29
Nockensteuerung II 171, 282
Nomineller Expansionsgrad II 117
Nonius III 15
Normalbeschleunig. I 148
 —druck (Hydr.) . . . I 266
 —e, Gleichg. der — I 94, 121
 —ebene, Gleichg. . . I 119
 —element II 878
 —flamme, -kerze II 828, 829*
 —format von Mauersteinen . . I 707; III 321
 —gleichungssystem (Vermessungsk.) . . III 52
 —höhe v. Gasballonen I 345
 —null III 26
 —profil (Eisenbahn) II 774, 887, 888, 925, 926*
 —profile, Deutsche — für Walzeisen . I 656* u. f.
 —profile für Schiffbaustähle I 664*
 —profile v. Bauholz I 742*
 —sand I 715
 —schiene (preufs.) III 801*
 —spannung (Festigkeitslehre) I 502
 —spannung im Schiffsquerschnitt II 737

Normaltender III 919
Normalien, Abflußrohre I 964*
 —, Abflußrohre a. Blei od. Steinzeug I 982
 —, Bauholz I 742
 —, Bewertg. u. Prüf. elektr. Masch. u. Transformat. . . . II 914
 —, Formstücke f. Rohrleitg. . 1958*, 959*, Gew.: 960*, 961*
 —, gußeiserne Muffen- u. Flanschenrohre I 956*, 957*
 —, Rohrleitungen f. hochgespannt. Dampf I 974, 976*, 978*
 —, Schrauben- d. preufs. Staatsbahnen . . I 764*
Normand-Kessel II 799*, 800
Normen f. Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen II 103
Notauslaß III 754
 —auschalter II 1039
Nullleiter II 876
 —linie, Biegungsfestigkeit . . I 541, 546
 —linie(exzentr.beanspruch. Kreising) Werte z: r . . I 602*
 —linie(zusammenges.Festk.) Bestimmung nach Mohr u. Land I 592
 —schicht I 541
 Nut I 756, 757*
Nutation I 230
Nutzholz I 734
 —lasten, amtliche . . . III 60
 —wasserbeschaffung III 467

O.

Obelisk I 138, 141
 —, Schwerpunkt . . . I 194
Oberbau, Grubenb. III 970
 —, Vergütungsab. III 975
 —, Zahnradbahn- . . III 956
Oberbau, Eisenbahn- III 795
 —, Bau d. Gleises . . III 798
 —, Bettung III 814
 —, Materialkosten . . III 814
 —, Lage d. Gleises . . III 795
 —, Langschwelen . . . III 814
 — m. fußeisernen Querschwellen III 806
 — m. Holzquerschwellen . . III 802
 —, Stofsverbindung III 810
 —, Straßensbahn- . . II 1008
Oberleitungsbetrieb (Straßenb.) . . II 1016
 —licht III 480, 485
 —schlächtiges Wasserrad II 291

Oberfläche, benetzte
 Schiffs- II 751
 —, bewegter Flüssigkeiten . . I 269
 —nkondensation . . . II 210
 —nkraft I 195
 —nwidderstand . . . I 371
 —nwidderstandeingetauchter Körper I 364
 — v. Körpern I 187
Objektivsystem III 12
Ofenheizung III 443, 498
 —kachel I 709
Ohm II 857, 858
 —sches Gesetz II 861
 —sches Gesetz f. Gleichstromdynamomasch. . . II 884*
Ohnesorge-Kupplung I 871
Okularsystem III 12
Oelfarbenanstrich . . I 685
 —feuerung II 793
 — für Dieselmotoren, thermodyn. Werte I 499*
 —gas II 888
 —, Heizwert I 479, 481
 —, Schmier- I 744
 —, Treiböl für Motoren . . II 249, 251*
Optik (Vermessungsk.) III 11
Oerlikoner Bronze, Festigkeitszahlen I 514*
Orsatapparat II 526
Osramlampe II 841
Oestensches Wasserrent-eisenungswasser . . III 721
ω-Tabelle (Kontinuierlich. Träger) III 152*
Oxydationskörper . . III 719, 761

P.

π (Zahl) I 43*
Packlage (Straßenb.) III 660
 —ung (Dichtung) I 309, 909, 921
 —wagen III 935
 —werk III 542
Panzerung, Schiffs- (Gew.) . . III 730*
Papier, Festigkeitssz. . I 517
Pappdach III 420, 422, 477
Pappussche Regel I 141, 190
Parabel (Gleichg.) I 98, 104
 —fläche, Schwerpunkt I 193
 —, Trägheitsmom. . . I 238
 —, Konstruktion . . . I 106
 —, kubische I 105, 582
 —, semikubische II 105, 582
 —träger III 103, 378, 1035
Paraboloid I 140
 —, Gleichg. I 124
 —, Schwerpunkt . . . I 195
 —, Trägheitsmoment I 240
Paraffinöl I 499*
Parallaxe III 13

- Parallelbetrieb v. Wechselstrommasch., Meeh. Anforderg.** . . . II 933
 —kräfte . . . I 187
 —perspektive . . . I 142
 —schaltung u. -betrieb d. Wechselstrom- u. Drehstromgeneratoren II 967
 —stromkondensation II 209
 —träger . . . III 78, 102
 —wicklung (Anker) II 890
Parallelogramm (Inh.) . . . I 134
 — der Winkelgeschwindigkeiten . . . I 157
 —gesetz . . . I 152
 —, Schwerpunkt . . . I 191
 —, Trägheitsmoment I 237
 —, Watsches . . . I 953
Parallelepiped, Trägheitsmoment . . . I 239
Parameter . . . I 93, 100
Parsonsturbine . . . II 235
Partialbruch . . . I 70
 —turbine . . . II 297, 301
Paskalsche Kurve I 160
 —s Gesetz (Hydrost.) I 265
Patentgesetze, deutsche und ausländische Bestimmungen . . . I 1068*
- Paternosteraufzug (Personen-)** . . . II 433, 440
 —werk . . . II 548
Pauliträger . . . III 105
Pech . . . III 685
Pedometer . . . III 3
Pegelkurve . . . III 533
Peltonrad II 298, 302, 309
Pendel, Kegel- . . . I 212
 —länge, reduzierte . . . I 224
 —, mathematisches I 213
 —, physisches . . . I 224
 —regler . . . I 1023
 —, Sekunden- . . . I 213
 —n d. Wechselstrommasch. bei Parallelbetr. II 934
 —stützen . . . III 868
Pennsche Sicherung I 766*
 —scher Schieber II 158, 778
Periode (Wechselstr.) . . . II 871
 —envergleich . . . II 967
 —ische Bewegung . . . I 147
 —ische Funktion . . . I 129
Peripherie d. Kreises I 2*
Perkinsheizung . . . III 451
Permeabilität . . . II 859
Permutationen . . . I 48
Perpendikel . . . II 654
Personenaufzug II 415, 428
 —wagen . . . III 925, 932
Perspektive . . . I 142
Petroleum, Destillationsprodukte . . . I 479
 —glühlicht . . . II 835, 856*
 —heizung . . . III 444
- Petroleum, Heizwert, Luftbedarf** I 479; II 251
 —lampe . . . II 835
 —motor, s. a. Verbrennungsmotor . . . II 267
 —, spez. Gew. . . I 637
 —, thermodyn. Werte I 498*, 499*
 —, Zusammensetzung I 479
Pfahl, Beton- . . . III 244
 —bock . . . III 242
 —, Eisenbeton- . . . III 303
 —, Ramm-, Tragfähigkeit III 226, 232
 —rost . . . III 240
 —, Schrauben- . . . III 245
 —schutz . . . III 244
 —, Simplex- . . . III 245
Pfannendach . . . III 419, 422
Pfeiler, Brücken- III 1089
 —, Eisenbeton- . . . III 278, 294, 298
 —gründung . . . III 245
 —mauer . . . III 325
Pfeilrad . . . I 806
Pferd, Kraft u. Leistung II 2; III 650*, 651*, 793
 —stärke (PS) I 200; II 857
 —stärke, Vergleichstafel I 1057*
- Pfette** . . . III 373
 —ndach . . . III 198, 345
Pflanzenöl . . . I 746
 —ung (Fluissb.) . . . III 544
Pflaster aus künstlichen Steinen . . . III 675
 —a. natürl. Steinen III 672
 —, Brücken- . . . III 1078
 —(Fluissb.) . . . III 542
 —, Holz- . . . III 677
 —, Klein- . . . III 669
 —, Klinker- . . . III 669
 —strasse . . . III 668
Phasenmesser . . . II 873
 —regler . . . II 939
 —transformator . . . II 952
 —vergleich . . . II 967
 —verschiebung . . . I 207
 —sdiagr. . . . II 926
 —swinkel . . . I 129
 —winkel . . . I 128
Phoronomie . . . I 144
Phosphorbronze I 694, 695
 —, Festigkeitssz. I 514*, 521
Photometer . . . II 830
 —rische Einheiten II 827
 —rischer Körper . . . II 827
Physikal. Mechanik I 164
Physisches Pendel I 224
Piefkesches Wasserentse-nungsverfahren III 719
Piezometer . . . I 337
Piranischaltung . . . I 962
Pisé-Wand . . . I 702
Pissoir . . . III 693
- Pitot-Darcysche Röhre** I 338, 384
Pius Fink-Umsteuerung II 188
Plan, Auftragen eines -es (Vermessungsk.) III 39
Planetenrädergetriebe I 157; II 853
Planimeter . . . III 25
Plankische Versuche (Stickstoffdampf) . . . I 457
Planum, Bahn- . . . III 786
Platindraht, Festigk. I 521
Platte, ebene, Festigkeit I 620; II 96
 —, Eisenbeton- . . . III 270
 —, gewölbte (Festigk.) I 623
 —, Metall-, Gew.-Taf. I 641*
 —nbrücke, Eisenbeton- III 307
 —nkte . . . III 517
Platz, städtische . . . III 696
Planelstange I 932, 940; II 773
 —, Automobil- . . . II 811
Plunger . . . I 909
Pneumatischer Elevator II 561
Pohlmannsche Bulbeisen-decke . . . III 414
Pol . . . I 159
 —bahn . . . I 159
 —, Beschleunigungs- I 162
 —(Kräftef.) . . . I 180
 —kurve . . . I 159
 —, Satz der drei -e I 163
 —schuh . . . II 905, 909
 —stärke, Magnet- . . . II 859
 —umschaltung . . . II 980
 —, Wechsel- . . . I 162
 —weite . . . I 182
 —, Wende- . . . I 161
 —, Wende- (Elektr.) II 906
Polarachse (Seileck) I 182
 —isation (elektromotorische Gegenkraft) . . . II 865
 —koordinaten . . . I 92
 —koordinaten, Raum- I 118
 —normale (Gleichg.) I 94
 —subtangente . . . I 94
 —tangente . . . I 94
Poller, Schiffs- . . . II 710*
Polonceau-Dachbinder . . . III 106, 398
Polygon s. a. Vieleck.
 —, A- (Statik) . . . II 85
 —, Seil- . . . I 172, 180
 —züge, Anordnung von - (Vermessungsk.) III 17
Polysiusssche Zahnkuppig. I 862, 863*
 —Umdrehungsregler I 822
Polytrope, Konstr. I 426
 —e vollkommener Gase I 424, 425*
 —ische Werte . . . II 260

Ponceletsche Erddruck-
konstruktion . . . III 203
Popperturm . . . II 220
Porphy . . . I 698
Portalkran . . . II 500
Portlandzement . I 685, 714
Postwagen . . . III 925, 935
Potenzen . . . I 2*, 45
—gesetz (Festigkeitsl.) I 503
Potential . . . I 198
—funktion . . . I 199
Prahm . . . III 517
Präzession . . . I 229
Prellbock . . . III 836
—ung . . . I 242
Preßgaslicht . . . II 837
—kopf . . . III 431
—werk . . . I 652
—zylinder . . . I 954
—zylinder, Festigkeit I 624
Pressung, Luft- . . . II 627
—e, Huber . . . II 342
—e, Präge- . . . II 342
—e, Schmiede- . . . II 338
—e, Stöfse- . . . II 341
—e, Zieh- . . . II 341
Primzahlenteilung . II 867
Prinzip d. Erhaltung der
lebendigen Kraft I 199
— der virtuellen Verschie-
bungen . . . I 175
Prisma . . . I 137
—, Schwerpunkt . . I 193
—, Trägheitsmoment I 239
—toid . . . I 141
Prismeninstrumente III 6
—kreuz . . . III 7
Probefahrt (Schiffb.) II 740
Probierventil . . . II 803
Profilaufnahme (Ver-
messungsk.) . . . III 29
—eisen . . . I 654, 656* u. f.
—geschwindigkeit . I 338
—maßstab . . . III 781
Progressionen . . I 56, 68
Projektion . . . I 142
Pronyscher Zaum . . II 827
Propeller, Schiffs- II 752
—rinne . . . II 544
Proportionalitätsgrenze
I 503, 507*
Proviand f. Schiffe II 732
—raum (Schiffs-) . . II 700*
Prüfung, Lokomotiv- III 919
Prüfswand . . . III 827
Pseudostatischer Regler
I 1015
Psychrometer . . . I 423
Pufferbatterie II 961, 962
—batterie, Straßensb. II 1016
—, Eisenbahn- . . . III 875
—, Luft-, Oel- . . . II 170
—maschine . . . II 1043
Pulsometer . . . II 597
Pultdach . . . III 348, 379
Pumprad . . . II 596

Pumpstation (Entwässe-
rung) II 755
—werk, Wasser- . . . III 858
Pumpe II 597
—, Abteuf- II 620
—, Ballast- II 788
—, Bau- III 530
—, Differential- . . . II 617
—, Hebung durch Luft od.
Dampfdruck . . . II 597
—, Ketten- II 596
—, Kolben- s. a. dort II 610;
III 601
—, Kreisel- II 531, 599, 787;
III 600
—, Luft- II 639, 785; III 256
—, Lenz- u. Spül- . . II 788
—nplan, Schiffs- . . II 791
—nzylinder I 954
—, Rittinger- II 620
—, Schiffs- II 715, 727*, 785
—, Schlender- II 599; III 600
—, Speise- II 788
—, Strahl- II 598
—, Wasserhaltungsmasch.
II 619
—, Windkessel II 612, 614
—, Wirkungsgrad . . II 615
—, Zirkulations- . . II 787
Punktabsteckung in Bogen
III 41
—, asymptotischer . . I 112
—bahn I 159
—bestimmung, trigono-
metrische III 21
—, Bewegung eines —es
I 144
—haufen, starrer, Lebendige
Kraft, Arbeit, Impuls,
Drall I 218
—im Raume I 115
—in der Ebene (Gleichg.)
I 90
—, isolierter I 96
—, Rückkehr- I 96
—, System- I 159
—, unendlich ferner . I 94
—, zugeordneter . . . I 96
Putz, Wand- I 712; III 321
Puzzolan I 712, 713
—erde I 700
P V- (Indikator-) Diagramm
I 416, 439
Pyramide I 188
—, Mantelschwerpunkt I 193
—, Schwerpunkt . . . I 194
—, Trägheitsmoment I 239
Pyrometer I 389

Q

Quadermauerwerk III 320
Quadrant-Eisen . I 663*
—, Umrechnung d. 90^o-Teilg.
in d. 100^o-Teilg. I 42*

Quadrat-Eisen (Gewicht)
I 675*
—, Methode der kleinsten
—e I 87, III 49
—querschnitt, Drehmoment
I 589, 591
—, Kern I 595
—, Trägheits- u. Wider-
standsmom. I 539, 552,
559*
—wurzeln I 2*, 43*
Quarz I 698
—t I 699
—lampe II 848
Quecksilberdampf Lampe
II 847
—, Elastizität . . . I 265
—höhen I 342*, 412, 1057*
—, Zähigkeit I 400
Quellfassung . III 705, 706*
Queraussteifung (Brücken-
bau) III 1045
—bauten (Flußb.) . . III 539
—feld dynamomasch. II 887
—keil I 753
—kraft I 184, 538, 540
—kräfte (Eisenbahnbrücke)
III 72*, 78*, 79
—kräfte im einfachen Balken
III 83, 87
—neigung, Eisenbahn-
III 782, 783*
—profil von Straßen III 656,
673, 676, 678
—schnitt, gefährlicher
I 543, 565* u. f.
—schnittsmomente I 552* u. f.
—schnittsverhältnisse in
stat. unbest. Konstr.
III 181, 184
—schwelle, eiserne III 806
—schwelle, hölzerne III 802
—schwellenoberbau f. Eisen-
bahnbrücken III 1057*
—schwelle, Weichen III 819
—sieder II 23
—stützung, elastische I 538
—zusammenziehung (Festig-
keitsl.) I 502
Quetschgrenze (Festigkeitsl.)
I 505, 507*
Q-Linie (-Fläche) (Statik)
I 540; III 95, 99

R.

Rabitzwand I 712; III 327
Raddruck, Eisenb. III 778,
869
—druck, Straßsenfuhrwerk
III 647*
—, Eisenbahn- . . . III 870
—, Grubenbahn- . . . III 971
—lenker III 818
—, Lokomotiv- . . . III 908
—reifen, Eisenbahn- III 871

Radreifen, Reibung I 246
 —, Straßensfuhrw. III 647
 —satz III 870
 —satzdrehbank . . . II 361
 —stand, Automobil II 806
 —stand, Eisenbahn III 912,
 927*, 928*
 —, Straßensfuhrwerk
 III 646, 647*
 —sturz III 646
 —, Vergnügungsb. III 977
 Räderformmaschine II 333
 —vorgelege I 815, 822; II 352,
 354
 Radialturbine . . . II 297
 Radiator, Wärmeabgabe
 III 441
 Radingersches Verfahren
 (Schwungradberechn.)
 I 1007
 Radius, hydraulischer I 310
 Radovanovič-Steuerng. II 172
 Rahe II 725*
 Rahmendach . . . III 389
 —, Endquer- ohne Endquer-
 träger (Statik) III 184
 —, gelenkloser Quer- (Statik)
 III 184
 —, Lokomotiv- . . . III 911
 —, Maschinen- II 204, 276, 774
 Rammarbeiten . . . III 226
 —bär III 519
 —e III 226, 519, 521*
 —e, Dampf- . . . III 520, 521*
 —enaufbau . . . III 521
 —en mittels Wasserspülung
 III 522
 —pfahl, zuläss. Beanspruchg.
 III 226
 Rampe, Lade- (Eisenb.)
 III 839
 —, Wege- (Inh.) . . I 141
 Randspannung I 597, 598
 —einfach gekrümmter Stäbe
 I 610*
 —, Werte σ_{\max} : σ I 608*
 Rankinische Erddruck-
 theorie III 208
 —Formel (Schiffswider-
 stand) II 746
 —Knickformel . . . I 537
 Rateauturbine . . . II 240
 Rauch I 488
 —fang III 864
 —fang (Schiffsk.) . . II 803
 —gas, spez. Gew. . . I 638
 —gas, Zusammensetz. I 483
 —kammer III 900
 —rohr III 327
 —verhütung II 43
 Rauheitszahlen (Hydr.)
 I 332; III 534, 738*
 —igkeit v. Leitungswänden
 I 964*
 —wehr III 542

Raumdiagramm (Dampf-
 maschinen) . . . II 142
 —gehalt v. Schiffen II 693,
 694*
 —gewichte I 639*; II 514*
 —koordinaten . . . I 115
 —mafs I 1051*
 —messung, statische I 383
 —winkel I 115
 Räuml. Fachw. III 185, 390
 —maschinen . . . II 855
 —nadelmaschinen II 355
 Reaktanz II 872
 —spannung II 902, 903
 Reaktion d. Wasserstrahls
 I 321
 —sgrad (Dampfturb.) II 231
 —sturbine (Dampf-) II 230
 —sverhältnis, Parallelbetr.
 v. Wechselstrommasch.
 II 935
 Réaumur-Thermomet. I 388
 Rebhannscher Satz (Erd-
 druck) III 203
 Receiver (Aufnehmer) II 131,
 141, 201
 Rechen, Abwasser- III 758
 Rechteckquerschnitt,
 Drehmoment I 589, 591
 —querschn., Einflufs. I 597
 —querschnitt, Kern I 595
 —querschnitt, Trägheits- u.
 Widerstandsmomente
 I 539, 552, 560*—563*
 —, Randspannung . . I 610
 —, Trägheitsmoment I 237
 Reduktorlampe . . . II 842
 Reduzierte Füllung II 117
 —Masse I 222
 —Pendellänge . . . I 224
 —Spannung (Dampfmasch.)
 II 140
 Reflektionsvermögen
 (Licht) II 833*
 —or II 849
 Refraktionskoeffizient III 32
 Regelnde Maschinen-
 teile, Kraftmaschinen-
 regler I 1015
 —, Schwungräder . . I 999
 Regelumformer . . . II 981
 Regelung d. elektr. Strom-
 erzeuger II 955
 —der Blei-Akkumulatoren
 II 960
 —, Spannungsregelung der
 Dreh- u. Wechselstrom-
 generatoren . . . II 969
 —der Gleichstrommasch.
 II 959
 —d. Gleichstrommot. II 976
 Regenhöhe III 619, 620*,
 703, 737, 738*
 —sinkkasten III 754
 —überfall III 748
 Reglerabweichung I 1036

Regler, Achsen- . . II 167
 —, Arbeitsvermögen I 1018
 —, Beharrungs- . . I 1019
 —, Dampfturbinen- s. bei
 den einzelnen Bauarten.
 —, Flach- I 1020, 1022
 —, Fliehkraft-, Untersuch.
 und Berechnung mittels
 Diagramme . . . I 1020
 —, hydraulische . . I 1029
 —, Induktions- . . . II 952
 —, käufliche Feder- I 1025
 —, Kegel- I 1020
 —, Kraftmaschinen-,
 Charakteristik. I 1020
 —, Kraftmaschinen-,
 Erklärungen . . I 1015
 —, Kraftmaschinen-, Flieh-
 kraft- I 1019
 —, Kraftmaschinen- mit
 Schubkurbelgetriebe u.
 Gew.-Belastg. . . I 1023
 —, Leistungs- . . . I 1019
 —, Lokomotiv- . . . III 903
 —, Mittelb. Regelg. I 1029
 —, Polysiuscher Um-
 drehungs- I 822
 —, Wasser-Turbinen- II 312
 —, Windrad- II 4
 Regnaultsche Versuche
 I 416, 434—438*
 Regulator für Fangvorrich-
 tungen II 418
 Regulierzeit (Turb.) II 315
 —zylinder II 312
 Reibrad I 813, 815
 —rad, Keilnut- I 814; II 387
 —rädervorgelege . . I 815
 Reibung I 211, 243
 —, Bahn- I 211
 —, Bremsen- I 247
 —, Bremsband- . . . I 262
 —, Dampfturb.-Rad- II 226
 —, der Rasse I 243
 —, Druckwasserhebezeug-
 I 247
 —, Eisenbahn- . . . III 768
 —, Exzenter- I 939
 —, Getriebe- I 249
 —, gleitende I 243
 —, Hanfsell- I 262
 —, innere, von Flüssigkeiten
 I 861
 —, Keilnuten- I 249
 —, Kugellager- I 255, 256*
 —, Kurbeltrieb- . . . I 933
 —, Lager- I 251
 —, Radreifen- I 246, 247
 —, Riemen- I 262
 —, Rohr- I 287, 292
 —, rollende I 244, 248
 —, Rollenlager- I 256, 257
 —, Schieber- I 247
 —, Schleifslein- . . . I 247
 —, Schlitten- I 248
 —, Schneckenrad- . . I 261

Reibung, Schrauben- I 257
 —, Spurzapfen- I 254, 255*
 —, Straßsenfuhrwerk I 247;
 III 648
 —, Stulp- . . . I 247, 910
 —, Tragzapfen- I 251, 253*
 —, Zahnrad- . . . I 259, 787
 —, Zangenbremsen- III 978
 —, Zugmittel- . . . I 261
 —, zusätzliche Dampf-
 masch. . . . II 127*
Reibungsarbeit I 212, 249
 —gesperre I 907
 —kegel I 244
 —koeffizient (Zähigkeits-
 faktor) s. a. Reibungszahl
 I 400*
 —Kupplung I 866*, 867*,
 868, 870; II 388
 —steifigkeit I 263
 —stützung I 243
 —trommel II 411
 —winkel I 243, 244
 —winkel, Getreide II 560
Reibungsbahnen III 765
 —, Abkürzungsbezeich-
 nungen III 765
 —, Bahnbau s. dort III 767
 —, Bestimmungen über Bau
 und Betrieb . . . III 765
 —, Eisenbahnfahrzeuge s.
 dort III 870*
 —, Eisenbahnwerkstätten s.
 dort III 937
Reibungswiderstand
 I 243
 — a. d. benetzten Körper-
 fläche I 325
 —, Automobil- II 806, 807
 —, eingetaucht. Körper I 364
 —, Fahrzeug- . . . III 649*
 —, Heizrrohr- III 448, 449
 —, i. Lüftungsanlag. III 430*
 —, Luft- I 371, 374*
 —, v. Schiffen I 328; II 745*
Reibungszahl (Koeffi-
 zient), s. a. Reibung
 I 211, 243
 —, Eisenbahnbremse III 878
 —, Reibungstrommel II 411
 —, verschied. Fälle I 246
 —, Luft- I 371
 —, Ruhende und gleitende
 Bewegung I 245*, 246*
 —, Wasser- I 332
Reihen I 56, 58
 —, binomische I 45
 —, Fouriersche I 128
 —, Maclaurinsche . . . I 68
 —, Taylorsche I 68
 —, wicklung II 891
Reinsch-Windrad . . . II 4
Relativbewegung, -Ge-
 schwindigkeit I 153, 214
 —e Feuchtigkeit . . . I 421
 —kraft I 214

Remanenz, magnet. II 860*
Renolds Zahnkettengetriebe
 I 844
Rentenrechnung . . . I 54
Repulsionsmotor . . . II 982
Reservoir, Eisenbet.- III 304
Resonanz I 207
 — (Elektr.) II 874
Resultante s. Mittelkraft.
Reuleaux-Schieberdia-
gramm II 152, 158, 162
Revolverdrehbank . . II 860
Reziproke Werte . . . I 2*
Rhombus, Trägheitsmoment
 I 237
Richmannsche Regel (Mi-
 schungstemperatur) I 396
Richtmaschinen . . . II 340
 —ungsregeln (elektr.) II 869
 —ungswiderstand . . . II 872
Ridersteuerung . . . II 165
Riedler-Stumpf-Tarb. II 241
Riemen, Arbeitsverlust
 I 264
 —, Balata- I 824
 —, Baumwoll- . . . I 823, 824
 —, Doppel- I 819
 —geschwindigkeit . . . I 819
 —, Glieder- I 823
 —, Kameelhaar- . . . I 824
 —, Leder-, Festigkeit I 521
 —, —, zuläss. Belastg. I 817
 —, Reibung I 262
 —, Treib- I 750
 —verbindung I 820
Riemenbetrieb . . . I 816;
 II 352; III 496
 —, Berechnung I 817
 —, Halbkreuz- I 820
 —, Kammerers Versuche
 I 824
 —, Kegelscheiben- . . I 821
 —, Riemenscheiben I 827,
 829*; II 388, 911
 —, Spannrollen I 822
 —, Stufenscheiben I 830;
 II 352
 —, Winkel- I 821
Rieseleinrichtung (Silo)
 II 552
 —feld III 609, 762
 —kondensator II 212
 —verfahren III 762
Riesen, Seil- II 576*, 577*,
 580, 581
Riffelblech I 678
Ringanker II 889, 899
 —geschütz I 625
 —Rutschkupplung (Zahn-
 radbahn) III 964
 —schmierlager I 874
 —, Trägheitsmoment I 240
 —ventil I 988
 —wicklung II 889
 —, zylindrischer . . . I 140
Rippenrohr I 967

Rittersches Schnittverfahren
 I 187; III 87
Rittingerpumpe . . . II 620
Robertischer Dreiecklenker
 I 951
Roheisen I 644
 —eisen, Erzeugung u. Sorten
 I 648, 649*
 —hautzahnrad I 803
 —öl, Heizwert, Luftbedarf
 II 251
Rohr I 962
 —, Abfall- II 560
 —, Abfluß- I 964*, 982*;
 III 305, 749
 —anschlüsse f. Motoren
 II 287*
 —, Beton- I 721*
 —, biegsames I 973*
 —, Blei- I 981*, 982
 —bruchventil I 996
 —, Brunnen-, Bohr- I 968
 —brunnen III 713
 —dach III 420
 —dichtung I 963, 979;
 III 631, 904
 —, Drainage- III 605*
 —, Eisenbeton- . . . III 305
 —erweiterung, Widerstand-
 zahlen I 300, 303
 —, Festigkeit I 624, 625*
 —, Förder- II 537
 —für hohen Druck I 966*,
 968
 —f. Wasserkraftanl. III 631
 —, Gas- I 966*
 —, genietetes I 965
 —, geschweißtes I 965
 —, gulseisernes I 956*, 957*,
 962
 —, Heiz-, Siede- I 964, 966*;
 II 13, 37; III 446*, 899
 —, Hochdruckdampf-
 I 974, 976*, 975*
 —, Kanalisations- . . III 749
 —, Kupfer-, Messing-,
 Bronze- I 692, 969, 970*
 bis 972*
 —, Mannesmann- I 968, 969*
 —, nachgiebiges (Hydr.)
 I 286
 —, nahtlos längsgeripptes
 I 967
 —, ovales, Festigkeit I 628
 —, Perkins- III 451
 —reibung I 288, 292, 468*;
 III 447, 452, 454
 —, schmiedeeisernes I 965
 —, Seil- I 983*
 —sicherung III 633
 —, spiralgeschweißtes
 I 967*
 —, Stahl- I 968, 969*
 —, Stampfbeton- I 720, 721*
 —, Steinzeugabfluß- I 982;
 III 749

Rohrstützen, Ausfuß-
 zahlen I 281
 —, Ton- . . I 709; III 749
 —, Trägheits- und Wider-
 standsmomente I 557*
 —, überlappt geschweifstes
 I 966
 —, umwickeltes . . I 975
 —, Verbindungsrohr für Hei-
 zungen III 446*
 —verbindung mit Rohrwand
 II 37
 —verengung, Widerstands-
 zahlen . . . I 305, 306
 —, Wärmeübergang, Durch-
 gang I 402, 404*, 408
 —, Wasserleitungs- III 732
 —, Zementbeton- III 750*
 751*
 —, Zinn- I 981*
Rohrleitung, Abdichtun-
 gen s. a. Rohrdichtung
 I 308
 —, Dampfheizung III 452,
 454
 —, Dampf- u. Wärmeerspar-
 nis durch Umhüllung
 I 471*
 —, Drucksteigerung infolge
 Absperrung . . I 307
 —, Durchfluß, s. u. Durch-
 fluß I 281
 —, Durchfluß von Gasen
 und Dämpfen . I 466
 —, Erwärmung des Wassers
 in — III 734
 —, Ferndampfheizg. III 462
 —, Fernwarmwasser- III 465
 —, Hochdruckdampf-
 I 974, 976*, 978*
 —, Kondensationswasser-
 menge I 470*
 —, Normal f. hochgespannt.
 Dampf . . . I 974, 976*
 —, Schiffs- . . II 715*, 790
 —, Strömung in der — I 362
 —, Warmwasser- III 446*,
 447
 —, Wasser-, für Bahnhöfe
 III 857
 —, Widerstandszahlen für
 Gase u. Dämpfe I 468*
 —, zweckmäßigster —
 Durchmesser f. Dampf
 I 470
Rohrnetz, Entwässerungs-
 III 735, 741, 749
 —, Wasserleitg. - III 730, 732
Rohrnormalien, Abfuß-
 rohre I 964*, 982*
 —, gußeiserne Muffen- und
 Flanschenr. I 956*, 957*
 —, Formstücke I 958*, 959*,
 Gew.: 960*, 961*
Rollkurve I 160
 —widerstand II 806

Rolle, Führungs- (Gasbeh.)
 III 191
 —, Ketten- I 886
 —, n-förderer . . . II 543
 —, n-lager I 884
 —, n-lager (Brücke) III 1041,
 1042*
 —, n-lager-Reibung . . I 256
 —, Seil- I 897
 —, Trag- III 976
Romanzement . . . I 713
Rootgebläse . . . II 651
Roses Metall . . . I 637
Rost (Grundbau) . III 238
 —, Lokomotiv- III 898, 962
 —fläche, Lokomotivk.
 III 889*, 890*, 962
 —fläche (Schiffsk.) II 792*
 —, Ketten- II 48
 —schutz des Eisens I 683,
 963, 965
 —stab II 45, 803
Rotationsellipsoid, Bessels
(Erde) III 1, 47, 49
Rotguß I 695
 —guß, Festigkeitsz. I 514*
 —or (Vektorrechn.) I 127
Rübelbronze, Festigkeitsz.
(Temp.-Einfl.) . I 516*
Ruberoid I 734
Rückdruck (Reaktion) v.
Wasserstrahlen I 321
 —enbau (Berieselg.) III 610
 —führungskurve (Regler)
 I 1035
 —kehrpunkt I 96
 —kühlung II 219
 —leitung, Strom- II 1010,
 1017
 —stau I 272, 276
 —wärtseinschneiden (Ver-
 messungsk.) . . III 21
 —wärts-Turbine . . II 730
Ruderszubehör . . II 707, 725
Rumpf-lager I 873
Rundeisen (Gewicht) I 675*
 —schiebersteuerung s. a.
 Drehschieberst. II 159,
 165, 167, 177
 —schleifmaschinen II 348,
 375, 376
Rungesches Verfahren
(harm. Anal.) . . I 131
Rufs I 488; II 44
Rüstungen III 353, 354
Rute I 1042*
Rutsche II 527, 559

S.

Sacken d. Erdbodens III 660*
Sägedach III 348, 380
 —, Ketten- II 382
 —, Kreis- (Holz). . II 377
 —, Kreis- (Metall) II 368
 —maschinen, Holz- II 377

Sammelbecken (Talsperre)
 III 624
 —becken, Stauhöhe u. Kosten
 III 626
 —rohr III 707
Sammeler (Elektr.) s. a.
Akkumulator . . II 879
 —, Drainage- . . . III 604
 —triebswagen . . . III 924
Sandfang III 755
 —formmaschinen . . II 332
 —schüttung III 239
 —stein I 700
 —stein, Amtl. Gewicht III 59
 —stein, Festigkeitszahlen
 I 519*, 520
 —stein, Kalk- . . . I 702
 —stein, Kunst- . . . I 702
 —stein, zulässige Bean-
 spruchung I 526; III 63
 —streuer III 915
Santorinerde . . . I 700, 713
Satteldach III 345, 377
Sättigung I 896
 —sdruck I 430
Satz der 3 Pole . . . I 163
 —räder I 788, 792
Sauerstoff I 632, 638
 —, krit. Zust. . . . I 431*
 —, thermodyn. Werte I 418*
Saugbagger II 563
 —er, Drainage . . . III 606
 —förderer II 561
 —gasanlagen II 289
 —heber II 597
 —hub (Verbrennungsmotor)
 II 258
 —kopf III 431
 —leitung I 284
 —luftbremse III 884
 —luftförderer . . . II 561
 —wasserförderer . . II 563
Säule aus eisenumschür-
tem Beton (Runderlafs)
 III 275
 —, Eisenbeton- . . III 272,
 275, 298
 —, Gußeisen- . . . I 654
 —, —, Trägheits- u. Wider-
 standsmomente I 557*
Schabotte II 337
Schachtbrunnen . . III 713
 —rute I 1045*
Schädlicher Raum . . I 444;
 II 137, 149, 196
Schalenkupplung . . II 856
Schallgeschwindigkeit I 348
Schaltanlagen II 970, 974
 —er II 974
 —er, Fahr- II 1020
 —tafel II 971
 —zellenzahl II 961
Schaltung d. Bahnmotoren
 II 1020
 — d. elektr. Stromerzeuger
 II 955

Schaltung d. elektr. Stromerzeuger, Ausführung d. Schaltanlagen . II 970
 —, Normalschaltungen f. Drehstrom . . II 963
 —, Normalschaltungen f. Gleichstrom II 883, 955
 —, Parallelschaltung u. -betrieb der Wechselstrom- u. Drehstromgeneratoren . II 967
 —, Genauigkeits- . II 1031
 —, Kaskaden- . II 980
 —, Leonard- . II 978, 1031
 —, Pufferbatterie- . II 962
 —, Transformator- . II 946
 —, Wechselstrom- . II 877
 Schamottestein . I 708
Schaufler, Gebläse II 630
 —rad, Schiffs- . II 758*
 Schaukeltransporteur II 521
Scheibenbremse . I 905
 —kolben I 910
 —kupplung I 857*
 Scheinwerferdynamo II 888
 Scheitelform II 183
 Schenkelwicklung, Schaltung II 883
Schere II 343
 —e, Kreis- II 844
 —festigkeit, s. a. Abscherung I 513, 538; II 343
Schiebebühne, Anordnung, GröÙe, Baustoff, Bauarten . . III 850
 —, Bewegungsvorrichtung, Widerstand, Kraftbedarf III 853, 854*
 —, Zahnrad- III 957
Schieber, Absperr- I 959, 997; III 733, 903
 —, Dampfkolben als — II 179
 —diagramm für Doppelschiebersteuerungen . . II 161
 —diagr., Reuleaux-Müllersches — II 152, 158, 162
 —diagramm, Zeunersches II 152, 154, 160, 162, 168
 —, Dreh- II 149, 159, 177, 197
 —ellipse II 154
 —, entlasteter II 158
 —, Flach- II 148, 150, 157, 163
 —, Kolben- II 149, 159, 167
 —, Lokomotiv- III 907
 —reibung . I 247; II 778
 —, Wasserleitungs- III 733
 —, Widerstandszahlen I 806
Schiebersteuerung, Doppel- II 161
 —, Dreh- II 177
 —, einfache . II 148, 150
 —, Einschieber-Expansions- II 160

Schiebersteuerung, Expansions- II 160, 161
Schiebetor (Schleuse) III 590
Schiebung (Mech.) I 152, 154, 217, 219
 — (Festigkeitsl.) . I 506
 —vektor I 154
Schiefe Ebene (Schiffshebewerk) III 592
Schiefdach III 419, 422
Schiene, Eisenbahn- III 798, 801*
 —, Befestigung III 802, 803
 —, Gestalt, Abmessung III 799
 —, Höhenlage III 796
 —, Lage, Spurerweiterung III 795
 —, Lasche III 811, 814*
 —, Material, Beanspruchung III 798
 —, Neigung III 803
 —, Normal- III 801*
 —, Stofs III 810
 —, Tragfähigkeit, Länge III 800
 —, Ueberhöhung, Krümmungen III 796, 797
 —, Unterlagen III 802, 809
 —, Verhindern d. Wanderns III 806, 809, 974
 —, Zwang- III 818
Schiene, Hängebahn- II 590
 —, Laufkran- II 474*
 —stofsverbindung (Straßenbahn) II 1009
 —nverbindung, stofslos II 1010
 —, Rillen- (Straßenbahn) II 1008, 1009*
 —, Vergnügungs- III 975
 —, Zahnradbahn- III 956
Schiffahrtskanal s. a. Kanalbau I 314
 —fahrtskosten II 561*, 562*
 —, Flufs-Fahrtgeschwindigkeiten III 561
Schiffbau II 654
 —, Ausgeführte Schiffe II 664*
 —, Festigkeitsrechnung II 736, 738*
 —, Formverhältnisse der Schiffe II 663, 664*
 —, Freibord II 691
 —, Geschwindigkeit, Maschinenkraft II 740, 742*
 —, Gewicht und Schwerpunkte II 717, 733—735*
 —, Gewichtsverhältnisse ausgeführter Schiffe II 733*, 734*, 735*
 —, Innere Schiffsräume II 699

Schiffbau, Kohlenverbrauch II 730
 —, Konstruktionsstahl I 664*
 —, Kurvenblatt II 661
 —, Liniendriss-Berechnung II 656, 659, 660*, 668
 —, Raumverhältnisse ausgeführter Schiffe II 694*
 —, Schiffbautechn. Begriffe u. Bezeichnungen II 654
 —, Schiffselemente II 704*
 —, Schiffsentwurf II 666
 —, Schiffsvermessung II 692
 —, Schottenteilung II 694, 696*, 697*
 —, Sprung II 655, 663, 696
 —, Stabilität II 670
 —, Stappelauf II 689
 —, Steuerruder II 707, 725
 —, Trimm II 684
 —, Vorschriften über wasserdichte Schotte II 695, 696*, 697*, 698*
 —, Vorschriften über Wohnräume II 699
Schiffsanker II 708, 726
 —anstrich II 724
 —bodenfarben I 686
 —farbengewichte II 724*
 —geschütz (Gewicht) II 731*
 —hebwerk III 592
 —kessel, s. a. Dampfkessel II 791, 797*, 799*, 802*
 —kesselanlagen von Kriegsschiffen II 799*
 —kessel, ausgeführte Zylinder — II 797*, 802*
 —kreisel I 230
 —länge, ideale I 328
 —maschine, s. a. Dampfmaschine, Schiffsmaschinenbau II 760
 —maschine (Motorboot) II 815
 —maschinen, ausgeführte II 762*—765*
 —schraube II 752, 753—755*
 —verbrauchsstoffe II 730
 —verlängerung II 689
 —vermessung II 692
 —widerstand I 824—828; II 741
 —widerstand in Kanälen und Flüssen III 559
 —wohnräume II 712
Schiffsmaschinenbau II 752
 —, Ausgeführte Dreifach-Expansionsmaschinen II 762*
 —, Ausgeführte Verbundmaschinen II 764*
 —, Ausgeführte Vierfach-Expansionsmaschinen II 764*

Schiffsmaschinenbau.
 — Dampfturbine . II 780
 —, Gestänge . II 772, 774*
 —, Gewichte von Kesselanlagen . II 802*, 803
 —, Gewichte d. Maschinenanlagen . II 801*, 803
 —, Grundlager . . II 773
 —, Grundplatte, Ständer . II 774
 —, Kessel, s. a. Dampfkessel . II 791
 —, Kolben II 771
 —, Kondensation . II 779
 —, Kurbelwelle . II 774
 —, Maschine . II 760
 —, Maschinenkraft . II 741, 742*
 —, Massenausgleich . II 766
 —, Propeller . . II 752
 —, Pumpen, Hilfsmaschinen . II 785
 —, Rohrleitungen . II 790
 —, Schraubenwelle . II 777
 —, Steuerung . . II 778
 —, Umlaufzahl, Hub, Kolbengeschwindigkeit . II 766*
 —, Zylinder . . . II 770
 —, Zylinderabmessungen . II 760
Schiffsschleuse, s. a.
 — Schleuse .
 —, Abmessungen . III 578*
 —, Allgemeines . III 576
 —, Bauweise . . III 581
 —, Berechnung . . III 578
 —, Füllen u. Entleeren . III 579
 —, Klapptor . . . III 589
 —, Schiebetor . . III 590
 —, Schiffshebewerke . III 592
 —, Schleusenwände . III 583
 —, Schleusenböden . III 581
 —, Seeschleuse . . III 578
 —, Sparbecken . . III 580
 —, Stemmorberechnung, -Ausführung, -Bewegung . III 585, 586, 588
 —, Tore III 584
 —, Tor-Schütze u. Umläufe . III 591
 Schindeldach . . III 421
Schlackenstein. . I 705
 —, pflaster . . . III 675
Schlauch, Metall. . I 983
Schleifenkurve . I 114
 —, maschinen . . II 374
 —, maschinen, Holz . II 381
 —, maschine, Rund- . II 348
 —, ring II 932
 —, steinreibung . . I 247
Schleppdach . . III 880
 —, kette II 545
 —, kraftgesetz . . III 533
 —, riemen II 538

Schleppversuch . II 744, 745*
 —er (Drahtseilförderer) . II 547
 —schiffahrt . . III 560, 561
Schleudergebläse s. Ventilator.
 —pumpe . II 593; III 600
Schleuse s. a. Schiffsschleuse . . III 554
 —, Einlafs- (Kraftanlagen) . III 628
 —, Kanal- III 572
 —, Kuppel- III 577
 —, Schacht- III 577
 —, Sperrtor III 572
 —, Wasserverbrauch bei Schleusungen . III 566
 Schleusungskosten . III 561
Schlickscher Massenausgleich . II 766
 — Schiffskeisel . I 231
 Schliefskopf . . I 778*
 Schlingern . . . II 682
Schlittenführung (Werkzeugmaschinen) . II 355
 —kolben I 916
 —reibung I 248
 Schlitzmaschine . II 381
 Schlüpfung . . . II 939
 Schmalspurige Bahn . II 516
Schmelzpunkt . I 397*
 —sicherung . . . II 975
 —wärme I 399*
 Schmidtsche Heißdampfmaschine . II 135, 146
Schmiedbarer Guß I 652
 —e III 947
 —eisen I 644, 650
 —eisernes Rohr . I 963; III 446*, 447*
 —estahl, zuläss. Spannung . I 525*
Schmiedemaschinen
 — Allgemeines . II 333
 —, Hammer . . II 335, 337
 —, Nietmaschinen . II 339
 —, Pressen II 338
 Schmiegungsebene . I 119
Schmiermittel . I 744
 —, Prüfung I 749
Schmierung . . I 251
 —, Fahrzeugmotor . II 814
 Schmutzwassermenge (Kanalisation) . III 736
Schnecke I 796
 —, Berechnung . . I 807
 —, Förder- II 534
 —, nlastdruckbremse . I 383, 402
 —nrad . I 796, 807; II 383
 —nrad, Reibung . . I 261
 —nradfräsmaschine . II 372
 —, Wasser- . II 596; III 600
Schneebeseitigung . III 682
 —druck III 60

Schneeschutz (Eisenb.) . III 831
Schneide, Werkzeug-
 —n. autogenes . . I 689
Schnellläufer . . III 719
 —regler (Wechselstrom) . II 969
 —stahl II 346
 —stromheizung . . III 450
Schnittdruck (Werkzeug) . II 847
 —geschwindigk. f. Holzbearbeitungsmasch. . II 378
 —geschwindigk. u. Vorschübe f. Metallbearbeitungsmasch. . II 349, 350*
 —verfahren, Rittersches . III 87
 —winkel II 345
 Schöpfwerk . II 548, 596; III 599
Schornstein I 600; III 327
 —, Blech- II 64
 —, Dampfessel- . . II 53
 —, Eisenbeton- . . III 319
 —, gemauerter, . . II 55
 —, gemauerter, stat. Berechnung . II 57, 60*, 61*
 —, Lokomobil- . . . II 64
 —, Lokomotiv- . . . III 900
 —, Schiffs- II 803
 —, Standfestigkeit . I 179, 600; II 57, 60*, 61*
Schottenteilung . II 694, 696*, 697*
 —erstrafe . III 660, 661, 663*
 —erstrafe, Baukosten, Reinigung und Unterhalt. . III 666, 667*
 —kurve II 694
Schrägaufzug . II 524, 593
 —zahnlastdruckbremse . II 384, 402
 Schranke, Eisenb. . III 828, 829
Schraube, Berechnung . I 761, 768
 —, Eisenbahnschwellen- . III 802
 — f. d. Brückenbau . III 986
 — f. Rohrlreitg. . . I 975
 — f. Schiffsmasch. mit Pennschiff Sicherung . I 766*
 —, Gasrohrgewinde . I 767*
 —, Gewicht I 679
 —, Gewichte von Muttern, Köpfen, Unterlagscheiben u. Bolzen . I 762*
 —, Gewindearten . I 760, 762*, 763*, 767*, 768*
 —, Laschen- III 811
 —, Luft- I 359
 —, Mutter- I 761*
 —, nbolzen, Gewicht . I 762
 —, ndruck I 361
 —, nfaschenzug . . . II 887*

Schraubenkupplung

- (Eisenb.) . . . II 875
- linie, Gleichg. . . I 120
- , Normalen der preuss. Staatsbahnen . . I 764*
- npfahl . . . III 245
- nrad I 158, 260, 796, 805
- nradgebläse II 635, 638*
- nrad-Reibung . . I 260
- n-Sicherung I 766*, 771
- nstrahl . . . I 359
- nverbindung (Hochbau) . . III 359
- nwelle, Schiffs- . . II 777
- ohne Ende . . I 796
- ohne Ende, Reibung I 261
- , Schiffs- II 752, 753*—755*
- , Stein- . . . I 770
- , Verschraubungen an Dampfkess. II 100, 101*
- , Wirkungsrad . . I 257
- , Zylinderdeckel- . II 199
- Schraubung . . . I 155
- Schrittzähler . . . III 3
- Schrumpfmafs . . I 934
- ring . . . I 625, 627
- Schub** der Schiffsschraube . . III 754
- festigkeit . . I 506, 538
- , Eisenbeton- . III 280
- gerader Stübe I 538
- kurbelgetriebe I 927, 933
- spanng. I 506, 539, 609, 611
- stange . . . I 932, 940
- stangenkopf . . I 943
- stangenkraft . . I 932
- u. Biegung . . I 604
- u. Drehung . . I 603
- u. Zug (Druck) I 604
- zahl (Festigkeitsl.) I 506
- Schulz-Kessel II 798, 799*
- Schurre . . . II 559
- Schutensauger . . III 518
- Schütterinne II 559; III 517
- winkel . . . II 560
- Schützenwehr** III 551, 553
- , Schleusentor- . III 591
- Schutz** gewerblichen Eigentums, Gesetz I 1067
- mittel, Holz- . . I 738
- streifen (Eisenb.) III 776, 830
- vorrichtungen . . III 505
- Schwarzer Körper, absolut- . I 410
- Schwarz-Rankinesche Knickformel . I 537
- Schwebekörper** (Fluissb.) . III 543
- ende Bauten (Fluissb.) . III 540
- ung . . . I 207
- Schwebebahn** II 521, 576; III 979
- , Bauart Torres y Quevedo . II 595

Schwebebahn, Berg-

- aufzug . . . II 595
- , Drahtseile . . . II 576
- , Drahtseilb. m. ununterbrochenem Betrieb II 582
- , Einseilbahn . . II 582
- , Gicht-Seilbahn . II 593
- , Haldendrahtseilb. II 593
- , Hängebahn . . II 590
- , Hellingseilbahn II 594
- , Meerseilbahn . II 594
- , Seilbahnen . . II 580
- , Verladeseilbahn II 592
- , Zerlegb. Einseilb. II 595
- , Zweiseilbahn . II 585
- Schwedlerträger . . III 105
- Schwefelsäure**, Leitungswiderstand . . II 864*
- lige Säure, spez. Gew. I 638
- lige Säure, thermodyn. Werte . I 418*, 451*
- Schweissen** von Dampfkesseln . . II 36, 94
- Schweißverfahren**, aluminothermisches I 688
- , autogenes . . I 688
- , elektrisches I 686; II 864
- , Wassergas- . . I 689
- Schweißseisen** (-Stahl) I 646, 651
- , Festigkeitszahlen I 507*
- , Amtl. Gewicht III 60
- platten, Gewicht I 641*
- , zulässige Beanspr. I 523* III 63, 76
- , zuläss. Knicksp. I 536
- Schwelle**, Eisenb. I 739, 742; III 802, 806, 814
- , Eisenb.,-Teilung III 813*
- , Eisenbeton- . . III 819
- , flufseiserne Quer- III 806
- , hölzerne Quer- für Brückenbau III 1057*
- , Holzquer- . . . III 802
- , Lang- . . . III 814
- , nrost . . . III 238
- nschraube . . . III 802
- nträger (Brückenb.) III 1060*—1063*
- , Vergütungs- . . III 975
- , Zahnradbahn- . . III 956
- Schwemmstein . . I 703*
- Schwenkkan.** . . III 527
- werk, Kran- . . II 491
- Schwere**, Gesetz der . . I 164, 196
- kraft . . . I 164, 196
- kraftbahn . . . II 519
- Schwerpunkt** . . I 188
- berechnung (Schiffb.) II 656, 657, 717
- Ermittlung . . . I 189
- lage von Flächen I 191
- lage von Körpern I 193
- lage von Linien I 190
- Sätze . . . I 216

Schwerpunkt, System-

- (Schiffb.) . . . II 656
- v. Schiffen . . . II 719*
- v. Schiffsmaschinen und Kesseln . . . II 803
- Schwimmer** . . . I 338
- kran . . . II 502
- pfeiler . . . III 245
- regel, Ampèresche II 869
- Schwinden** u. Quellen d. Holzes . . I 736, 737*
- mafs . . . I 392*, 737*
- Schwingdaumen . . II 170
- Schwingung**, elast. I 147
- , Erreger- . . . I 207
- , erzeugene . . I 206
- , gedämpfte . . I 205
- , geradlinige . . I 205
- , harmonische I 128, 205
- , Schiffs- . . . II 682
- sdauer . . . I 205
- sdekrement . . I 206
- szahl . . . I 205
- zeit v. Federn . . I 613
- Schwingmoment . . I 221
- Schwungrad**, Abmessungen . . I 999
- , Arbeitsüberschufermittlung . . I 1004
- , Berechnung mittels Massenwuchtdiagramms . . I 1011
- elektr. Fördermasch. . II 1043
- , Festigk. u. Konstr. I 1001
- gewicht . . . I 1000*
- , reduziertes Gew. I 1014
- , Verbrennungsmotor- . II 253
- wellenzapfen . . I 847
- Scottsche Schaltung** II 948
- Sechskanteisen** (Gewicht) I 675*
- kupplung, gelenkige I 860
- Securadecke . . . III 412
- Seedeich** . . . III 614
- gang . . . II 684*
- kanal . . . III 596
- meile . . . II 740
- wasser, spez. Gew. I 284; II 661
- Segel . . . II 706*, 725*
- Segerbrennkegel I 389, 391*
- Sehinstrumente . . . III 11
- Sehnenlänge . . I 36*
- Seil** I 832, 835, 890, 898
- ausgleichung II 449, 976
- befestigung . . I 898
- an Wagen . . III 977
- betriebe . . . I 816
- , Draht- s. a. dort I 890
- durchhang II 578; III 972
- eck . . . I 172, 180
- , Festigkeitszahlen I 521*, 892—897*; II 576*, 577*; III 963*

Seilgeschwindigkeit (Triebwerk) . . . I 834*, 836
 — geschwindigkeiten von
 Fördermaschinen II 448
 Förder- . . . II 448
 förderer . . . II 545, 547
 Hanf- . . . I 834*, 898*
 Hanf- u. Baumwoll- für
 Triebwerke . . . I 835*
 kantiges . . . I 835, 836
 lastdruckbremse . . . II 401
 Litzen- f. Schwebebahnen
 II 576*, 577*, 579*
 — polygon, Ermittlg. d. Bie-
 gungslinie als — III 129
 — polygon-Maßstab III 129
 riesen . . . II 580, 581
 rohr . . . I 983*
 rolle, —trommel I 897
 scheibe . . . II 472
 scheibe, Draht- I 833*
 scheibe, Hanf- I 836*, 837
 —, Schiffs-, Gewicht und
 Festigkeit . . . II 726*
 —, Trag- II 578, 579*, 585;
 III 976
 — steifigkeit . . . I 268
 — verbindung I 835; II 578
 —, Zug- . . . II 577, 579, 586
Seilbahn, s. a. Schwebe-
 bahn II 516, 521, 580
 —, Elektro- . . . II 592
 —, Gicht- . . . II 593
 —, Verlade- . . . II 592
 —, Stand- . . . III 969
 —, Drahtseil . . . III 969*
 —, Grubenseilb. III 970
 —, Vergnügungs- (Tou-
 risten-) B. III 970, 972
Seitendruck . . . I 266
 — kanal . . . III 555
 — kraft . . . I 168
 — licht . . . III 479
Sektorengeschwindigk. I 203
Sekundenpendel . . . I 213
Selbstentzündung der
 Kohlen . . . I 479
 — einstellung (Windrad) II 4
 — hemmung I 249, 907;
 II 388
 — induktion I 206; II 857,
 868
 — — i. Leitungen II 992*
 — regler, Wechselstrom-
 II 969
 — schlufsventil . . . I 996
Sellers-Gewinde I 760,
 767*
 — Kupplung . . . I 858*
 — Lager I 876, 877*, 878*
Semikubische Parabel
 I 105, 582
Senkbremse . . . II 395, 399
 — brunnen a. Mauerw., Be-
 ton, Eisenbeton III 247
 — brunnen, eiserne III 249

Senkbrunnen, hölz. III 250
 — el III 8
 — kasten III 245
 — kasten, Eisenbeton- III 253
 — kastengründg. III 251, 257*
 — sperrbremse II 895, 400
 — ungskurvenberechnung
 III 549*
Serienmotor, Wechselstr.
 II 981
Serpentin I 698
Servomotor II 312
Setzen der Gebäude III 264
 — wäge III 8
Sextant, Spiegel- . . . III 17
Sheddach III 848, 380
Sichelträger III 106, 170
Sicherheit gegen Bruch
 I 513
 — sanker (Zahnradb.) III 967,
 975
 — sanlagen a. Strafsen III 685
 — sgrad gegen Knicken I 534,
 535*, 919
 — sgrad gegen Seilbruch
 I 891; II 577; III 970
 — skupplung III 875
 — skurbel I 908; II 383
 — streifen (Eisenb.) III 776
 — sventil I 465; II 72, 81,
 202, 800*; III 902
 — ventill f. hydr. Pressen
 I 993
Sicherung v. Rohrleitungen
 III 633
Sickerdohle III 707
 — rohr III 235
Siedepunkt I 398*
 — rohr I 966*; II 38, 93, 795
 — rohrkessel II 15*
Siedetemperatur I 431*
 — flüss. Brennstoffe I 498*
Siemens-Martin-Flußseisen
 (Stahl) I 650
S. J.-Gewinde I 760, 762*
Signaleinrichtung . . . III 977
Silberlot I 697*
Silo, Eisenbeton- . . . III 805
 — speicher II 565
Simpsonsche Regel
 (Fl.-Inh.) I 136; II 657,
 659
 — (Integralrechnung) I 81
Sinkbaum III 542
 — kasten, Regen- . . . III 754
 — lage, —stück, —matte
 III 542, 543
Sinus I 26*, 57, 58, 60
 — arcsin I 58, 61, 66
 — Arcin I 66
 — hyperbolicus I 30*, 32*, 65
 — versus-Bewegung I 927
Skalar I 125
σ (Spannungs-)Linie für
stärkste Kantenpressung
 III 210

Slip II 752, 753*
Soerenen-Windrad II 3, 4
Solenoid II 867
Sommerweg (Landstraßen)
 III 657
Spanabhebende Metall-
bearbeitungsmasch.
 Allgemeines II 345
 —, Bohr- und Gewinde-
 schneidmasch. II 361
 —, Drehbänke II 358
 —, Fräsmaschinen . . . II 364
 —, Hobel- u. Stofsmaschinen
 II 355
 — zur Zahnradherstellung
 II 369
 —, Räummaschinen . . . II 355
 —, Schleifmaschinen II 374
Spannbildung II 346
Spannkraft im einfachen
 Fachwerkbalken III 87
 — rolle I 822
 — schütze II 296
Spannung, elektr. II 857
 —, elektr., übliche II 938, 984
 — (Festigk.) I 502
 —, Gegenseitigkeit der — en
 I 596
 — en im Schiffsquerschnitt
 II 737, 739
 —, indizierte II 116, 122*,
 125*
 —, indizierte (Luftpumpe)
 II 643
 —, reduzierte (Dampf-
 maschinen) II 140
 — u. Durchbiegung langer
 Stäbe I 598*, 599*
 — sellipse I 544
 — sfaktor (Elektr.) . . . II 924
 — sfäche I 547, 596
 — sgleichung (Dampf) I 433
 — skoeffizienten (Dampf-
 masch.) II 122*
 — smessung (Thermodyn.)
 I 412
 — szahl (Dampf) II 122
 — szeiger (Elektr.) . . . II 975
 —, zulässige I 506
 — — f. Brückenbau III 62*,
 76*, 81
 — — f. Eisenbeton III 274,
 277, 278, 282*
 — — für den Hochbau
 I 524*; III 62
 — — für den Maschinenbau
 I 522, 523*
 — — für den Schiffbau
 II 756, 760, 774, 779
 — — Knick- I 534, 535*
Spantenskala II 668
 — formen II 666
Spärbecken III 580
 — bogenlampe II 846
 — transformator II 947

Sparren I 741; III 188, 196, 418*
 —dach III 345
Speicher, Boden- II 564
 —, Silo- oder Zellen- II 565
Speiseaufzug II 414
Speisung, Schiffs- . II 790
 —pumpe II 788
 —saal, Fabrik- III 512
 —ventil (Dampfkl.) II 75, 80
 —wasser, Lokomotiv- III 855
 —wassermesser II 324
 —wasserreinigung . II 68
 —wasservorwärmer II 65
Speisung von Dampfkesseln
 II 65, 800; III 901
Sperrdamm III 540
 —radbremse I 908
 —radsenkbremse II 400
 —rad-Stoppbremse II 396
 —tor, Schleusen- III 572
 —werk I 906
 —zeichen (Weiche) III 822
Spezifische Kühlfäche,
 Dynamomasch. II 914
 —Leitfähigk. (elektr.) II 863
 —r Druck, s. Flächendruck.
 —r Leitungswiderstand
 II 862, 863*, 864*
 —r Rauminhalt der Luft
 II 640
 —s Gew. fest. Körper I 633*
 — — flüssiger Brennstoffe
 I 498*, 499*
 — — vollkommener Gase
 I 418*
 — — von Erdarten II 514
 — — v. Flüssigkeiten I 637*
 — — v. Gasen u. Dämpfen
 I 638*
 — — von Seewasser I 284;
 II 661
 — — v. Süßwasser I 284
 — — v. Zimmerholz II 723*
 —Umlaufzahl (Turb.) II 299
 —Wärme I 393, 394*, 395*
 —des überhitzten
 Wasserdampfes I 441*
 —v. Gasgemischen I 420
Sphärischer Exzeß I 64;
 III 48
Spiegelamalgame I 697
 —instrumente III 4
 —kreuz III 5
 —sextant III 17
Spill II 412, 413*
 —, Anker- II 709*, 710*
Spiralbohrer II 348
 —e, Archimedische I 111
 —e, Förder- II 535
 —e, hyperbolische I 111
 —e, logarithmische I 112
 —trommel II 412
Spiritus s. a. Alkohol.
 —glühlicht II 836, 856*

Spiritus, Heizwert, Luft-
 bedarf. II 251
 —, thermodyn. Werte
 I 498*
 —motor s. a. Vertrennungs-
 motor II 267*
Sprengarbeit III 790
 —wagen III 681
 —werk III 197, 344
Spritze II 1
Sprungbelastung (Stahl-
 kugel) I 881
 — (Schiffb.) II 655, 668, 696*
 —stand (Vermessungsk.)
 III 20
 —, Wasser- I 312
 —weite von Wasserstrahlen
 I 317*
 — (Zahnrad) I 805
Spülmaschine, Schiffs- II 715*
 —pumpe II 788
 —rohr III 517
 —ung d. Kanäle III 757
 —versatz II 564
Spundwand III 281
Spurerweiterung, Eisen-
 bahn III 795*
 —, Grubenseilb. III 970
 —, Zahnradbahn III 957
 —kranz III 870
 —rinne III 803, 816, 829
 —weite, Automobil- II 806
 —, Eisenbahn III 774
 —, Fuhrwerk III 646
 —, Grubenseilb. III 970
 —, Straßebahn II 1007
 —, Vergnügungsb. III 975
 —, Zahnradbahn- III 957
 —zapfen I 848
 —zapfen-Reibung . I 254
 —zapfen, Turbinen- II 306,
 308
Stab, biegunsfester III 135
 —dreieck, Winkeländerung
 III 126
 —, einfach gekrümmter,
 Biegunsspannungs-
 mittlung I 542
 —, einfach gekrümmter,
 Normalspannungen I 608
 —, einfach gekrümmter,
 Normal- u. Schubspan-
 nungen I 611
 —eisen I 655
 —federkupplg., nachgiebige
 I 864
 —, gerader, Biegunsfestig-
 keit I 540
 —, gerader gezogener oder
 gedrückter I 527
 —, gerader, Knickfestigkeit
 I 533
 —, gerader, Schubfestigkeit
 I 538
 —, gerader, Zug- u. Druck-
 festigkeit I 527

Stab, gleichen Wider-
 standes gegen Zug
 (Druck) I 528
 —längenänderung in Fach-
 werken III 117
 —, langer, Spannung und
 Durchbiegung I 598*,
 599*
 —, stetig gekrümmter
 III 137
 —werk, vollwandiges III 140
 —zug III 124
 —zug, biegunsfester III 137
 —zug, gelenkiger . III 127
 —zugverfahren (Statik)
 III 124
 —zugwinkeländerg. III 126
Stabilität (Schiffb.) II 670
 —b. bewegl. Ladg. II 679
 —b. Leck, Grundberührung
 II 680
 —, Krängungsversuch II 676
 —, Statische u. dynamische
 II 670
 —, Schlingern II 682
 —schwimmender Körper
 I 267
 —sänderung II 677
 —smoment I 179; II 656, 670
 —srechnung mittels Inte-
 grators II 674
 —, statische v. Gasballonen
 I 346
 —unter Segel II 681
Stadtbauplan III 687
Städtebau, Aufgaben d. —
 III 686
 —, Gartenstädte, Wohn-
 kolonien III 698
 —, Gesetze u. Vorschriften
 III 687
 —, Plätze III 696
 —, Stadt- und Ortsbaupläne
 III 687
 —, Straßens, städtische s. a.
 dort III 689
Städteentwässerung
 III 735
 —, Abwasserreinigung
 III 758
 —, Berechng. d. Regenüber-
 fälle III 748
 —, Betrieb III 757
 —, Druckrohrleitg. III 756
 —, Einzelheiten d. Leitungs-
 anlage III 753
 —, Entwurfsdarstellung
 III 742
 —, Flutflächen III 740
 —, Kanalisationssysteme,
 Kanalnetz III 735
 —, Leitungsquerschnitt-
 berechnung III 745
 —, Linienführg. d. Leitg.
 III 741
 —, Notauslässe III 751

Städteentwässerung,
 Pumpstation . III 755
 —, Sammelleitung . III 741,
 745, 749
 —, Straßsenentwässerung
 III 754
 —, Tiefenlage, Gefälle
 III 748
 —, Wassermengen . III 736
Staffellapparat . . III 3
 —methode (Höhenmessung)
 III 35
Stahlbandbetrieb . I 824
 —bronze, Festigkeitszahlen
 I 515*
 —, Chromnickel-, Festig-
 keitszahlen . . I 510*
 —draht, Gewicht . I 640*
 —, Elektro- . . . I 651
 —, Festigkeitszahlen II 334
 —formguß, zulässige Bean-
 spruchung . . III 63
 — für Kraftwagen u. Luft-
 schiffe . . . I 508*
 —guß I 652
 —guß, Festigkeitszahlen
 I 507*, 513*, 652
 —guß, zuläss. Spannung
 I 523*, 525*; III 81
 —, hochwertiger Spezial-
 Festigkeitszahlen I 508*
 —kugel I 880
 —, Mangansilizium-, Festig-
 keitszahlen . . I 512*
 —, Nickel- . . . I 644*
 —, Nickel-, Festigkeits-
 zahlen . . I 507*, 509
 —rohr I 968
 —, Schnell- . . . II 346
 —, Tiegel- . . . I 651
 —, Titan-, Festigkeitszahlen
 I 512*
 —, Vanadium-, Festigkeits-
 zahlen . . . I 512*
 —werksgebläse . . II 650
 —werkskran . . . II 506
 —, Wolfram-, Festigkeits-
 zahlen . . . I 512*
 —, Zement- . . . I 652
Ständerfachwerk . III 89
Standfestigkeit I 177, 179
 — von Bauwerken auf
 Pfahlrosten . . III 240
 — v. Böschungen III 535*
 — v. Eisenbahnbr. III 1054
 — v. Schornsteinen II 58,
 60*, 61*
 Stanniol I 693
 Stapellauf II 689
Starrer Körper, Arbeit
 d. äußeren Kräfte, le-
 bendige Kraft, Impuls,
 Drall I 218
 —, Bewegungsgleichungen
 und Beschleunigungs-
 arbeit f. Drehung I 221

Starrer Körper,
 Drehung bei gleich-
 bleibender Winkelge-
 schwindigkeit . I 225
 —, Drehung um feste Achse
 I 221
 —, freie Achsen, Achslager-
 widerstand . . I 223
 —, Kreiselbewegung I 226
 —, physisches Pendel I 224
 —, Reduktion der Massen
 I 222, 1012
 —, Zentrifugalkräfte I 222
 Starrschmiere . I 745, 749
Statik, graphische I 179
 —luftförmiger Körper I 342
 —starrer Körper . I 166
 —tropfbar flüss. Körper I 265
**Statik d. Baukonstruk-
 tionen**, Allgemeines
 III 56
 —, Belastungen und Eigen-
 gewichte . . . III 57
 —, Belastung v. Brück. III 65*
 —, Berechnungsgrundlagen
 f. d. stat. Untersuchung
 v. Hochbauten III 57
 —, Brücken- u. Dachkon-
 strukt. s. dort III 83
 —, Erddruck u. Stützmauern
 s. dort . . . III 200
 —, Gewölbe s. dort III 211
 —, Näherungsformeln für
 einige Holzkonstruk-
 tionen s. dort. III 197
 —, Räumliches Fachwerk
 s. dort . . . III 185
 —, Stat. Berechnen. III 66
 —, Theorie d. statisch unbe-
 stimmten ebenen Träger
 s. u. Träger . . III 117
 Station III 833
Statischer Regler I 1015
 —s Moment I 188; III 87
**Statisch unbestimmte
 Konstruktionen**,
 Castiglianoscher Satz
 (Beispiele) . . III 182
 —, Balken auf mehreren
 Stützen s. dort III 146
 —, Kette über eine Öffnung,
 verstreift durch einfachen
 Balken . . . III 177
 —, Zweigelenkbogen s. dort
 III 167
Stauanlage, Ausfluß I 270
 —gewichte . . . II 703*
 —höhe u. Kosten einer Tal-
 sperre . . . III 626*
 —kurvenberechnung. III 549*
 —linie I 312; III 548, 549*
 —raum (Schiffb.) II 703*
 —scheibe I 385
 —spiegel, -stufe . III 548
 —ung, Ein- u. Ueber-
 Landw. Wasserb. III 608

Stauungsdruck . I 377
 —vorrichtung (Förderma-
 schinen) . . . II 458
 —weiher . . . III 624, 626
Staubabsaugung . III 508
 —entfernung (Straßenab.)
 III 682
 —kammer III 493
 —verhinderung a. Land-
 straßen . . . III 667
**Stefan-Boltzmannsches
 Gesetz** (Strahlung) I 409
Stehbolzen . II 88, 89, 92,
 101; III 892
 —blech III 988
 —blech, Stofs . . III 1004
 —blech, Trägheitsmoment
 III 1000*
 —lager . I 874, 875*, 876*
 Steifigkeit d. Zugmittel I 263
Steighöhe von Wasser-
 strahlen . . . I 317*
 —ung städtischer Straßen
 III 689
 —ung, Straßenb. II 1006
 —ungsverhältnisse f. Eisen-
 bahnen . . . III 772
 —ungsverhältnisse f. Stand-
 seilbahnen . . III 972
 —ungsverhältnisse v. Land-
 straßen . . . III 655*
 —ungsverhältnisse f. Zahn-
 radbahnen III 951, 952
 —ungswiderstand . II 807;
 III 649, 769, 971
 —ungswinkel . . . I 120
Steinbrecher . . III 662
 —formate . I 707; III 321
 —holz I 705
 —kistenbau . . . III 262
 —metzsche Formel II 860
 —packung III 542
 —pflaster . . . III 668, 672
 —schlag III 663*
 —schraube . . . I 770
 —schüttung . . III 262, 542
 —verband III 323
 —zeugrohr I 982*; III 749*
Steine, Amtl. Gew. III 59
 —, Festigkeitszahlen I 518*,
 519*, 520*
 —, künstl., gebrannte I 706
 —, künstl., ungebrannte I 701
 —, natürliche . . . I 698
 —, zulässige Beanspr. I 526*,
 III 63
Steinkohle, Klassifizierung,
 Heizw., Zusammensetzung
 I 475, 476*, 477*
 —ngas II 836
 —ntypen I 476*
 —, Syndikatsmarken I 478*
 —, Wärmeverlust durch
 Verbrennungsgase I 487*
 Steine u. Hartung-Regler
 I 1028

Stelling I 851
 — ungleichung . . . I 144
 — unglinie (Erddruck) . . . III 201
 — werk (Eisenbahn) III 817
Stenmaschinen . . II 382
 — lasche (-Stuhl) . . III 806
 — tor (Schleuse) III 584, 585, 586, 588
Stephenson-Umsteuerung . . II 185
Sterngewölbe . . . III 339
 — kurve I 110
 — schaltung II 877
Steuermaschine, Um-II 788
 — ruder II 707, 725
Steuerung, Aufzug-II 420
 —, Automobil II 822
 —, Dampfmaschine, allgem. Anforderungen II 148
 —, Ausklinksteuerung . . II 174
 —, einfache Schiebersteuerung . . . II 150
 —, Expansionssteuerung . . II 160
 —, m. Achsenreglern auf der Steuerwelle II 173
 —, Umsteuerung. II 182
 —, Ventilsteuerung. II 168
 —, zwangsläufige Ventilsteuerung . . . II 172
 —, Fahrzeugmotor-II 811, 814
 —, Fördermaschinen-II 461
 —, Kolbengebläse-II 645
 —, Kraftsche Fördermaschine . . II 462
 —, Lenker- (Fördermasch.) . . II 462
 —, Lokomotiv . . . III 907
 —, Schiffsmaschinen-II 778
 —, Verbundlokomotiv . . . III 916
 —, Verbrennungsmotor-II 282
Stickstoff . . . I 632, 638
 —, gesättigter -Dampf, thermodyn. Werte I 457*
Stirlingsche Reihe s. Maclaurinsche Reihe.
Stirnzapfen s. Tragzapfen
Stirnrad I 786, 790, 800, 801*, 805
 —, Haschenzug . . . II 387*
 —, Fräsmaschinen II 370
 —, Gewicht I 813*
 —, reibung I 259
 —, Stoßmaschine . . II 371
Stoffkunde, Allgemeines I 630
 —, Chemische Elemente u. Verbindungen I 630*
 —, Gewichte geschichteter Körper I 638*

Stoffkunde, Glas I 724
 —, Kautschuk, Guttapercha, Asbest I 729
 —, künstliche Steine I 701
 —, Ledertreibriemen I 750
 —, Metalle I 640*
 —, Mörtel, Putz, Zement, Beton I 709
 —, natürl. Steine u. Erden . . I 698
 —, Nutzhölzer . . . I 734
 —, Schmiermittel . . I 744
 —, spez. Gewichte I 633*
 —, Wasserglas, Kitt, Asphalt, Dachpappe . . I 731
Stokesscher Satz (Vektorrechnung) . . . I 127
Stollen III 707
 —, Wasser III 630
Stopfbüchse I 909, 921; III 907
 — dichtung s. a. Labyrinthdichtung . . . I 308
 —, Reibung I 247, 910
Stoppbremse . . . II 395
Störungsfunktion . . I 84
Stoß I 241
 — d. Wassers I 818; III 733
 — elastizität . . . I 241
 — heber II 598
 — verbindung von Trägern III 1004, 1027
 — kraft I 202, 241
 — lücke III 811
 — masch., Metall-II 355, 357
 — punkt I 223
 — unterstützung (Schienen-) . . III 812
 — verbindg. (Hochb.) III 363
 — verbindung, Schienen-II 1009, 1010; III 810
 — zahl der Verkehrslast I 531, 532*
 — ziffer I 241
Stoßsche Kette . . . I 844
Strahl, ausfließender Eigenschaften I 270, 318, 358
 — bewegung I 358
 — enbrechung (Vermessgsk.) III 27, 32
 — enmenge II 828
 — kondensator . . . II 212
 — pumpe II 598
 — turbine s. a. Dampfturbine II 297, 298, 309
 — ungsvermögen . . I 409
 — ungszahl (Wärme) I 403, 410*
Straßenbeleuchtg. II 855
 — breite, Land- III 656, 657*
 — breite städt. Str. III 690
 — brücke, Belastung III 65, 66, 67
 — fuhrwerk III 645*
 — fuhrw., Bewegungswiderstand I 247; III 648, 649*

Straßenfuhrwerk, Gewicht III 648*
 — reinigung III 681
 — schild III 694
 — wälze III 67, 664
Straßenbahn . . II 1005
 —, Gleisanlage . . . II 1005
 —, Gleisunterhaltung II 1014
 —, Kraftwerk . . . II 1015
 —, Linienführung . . II 1005
 —, Motoren II 1019, 1020*
 —, Oberbau II 1008
 —, Stromzuführung II 1016
 —, Wagen II 1019, 1022*; III 646*
 —, Wagenhallen, Werkstätten . . II 1022, 1023*
 —, Wagen, Zuglast III 650
Straßenbau . . . III 645
 —, Arbeitsleistung d. Zugtiere III 651
 —, Bau u. Unterhaltung d. Landstraßen . . III 653
 —, Bau u. Unterhaltung v. Wegen untergeordneter Bedeutung . . . III 652
 —, Bewegungswiderstand u. Zugkraft III 648, 649*
 —, Landstraßen s. dort III 653
 —, Straßensfahrzeugs. Fuhrwerk III 645*
 —, Straßen, Städtische s. dort III 670
 —, Wegerecht III 683
Straßenbrücke III 1073
 —, Belastung III 65, 66, 67
 —, Bohlenbelag III 1073, 1074*
 —, Entwässerung III 1086
 —, Fahrbahnbreite, Gefälle III 1073
 —, Fahrbahngerippe III 1078
 —, gewölbte III 1095*
 —, Längsträger . . III 1081*
 —, bis 1083*, 1085*
 —, Querträger III 1084*, 1085*
 —, Straßendecke III 1077
 —, Tragende Fahrbahnplatte III 1075
 —, Widerlageranschluss d. Fahrbahn . . . III 1080
Straße, städtische s. a. Kanststraße III 670, 689
 —, Bau u. Unterhaltung d. Fußwege . . III 679
 —, Breite u. Querprofil III 690
 —, Fahrbahnbau und Unterhaltung . . III 670
 —, Kreuzungen u. Mündungen III 694
 —, Nebenanlagen III 693
 —, Pflasterung s. a. Pflaster III 672

Thermodynamik, Formeln aus den beiden Hauptsätzen I 412, 415
 —, **Nutzbare Arbeit** I 414
 —, **Zeichn. Darstellg.** I 415
Thermoelement . . . I 389
 —meter I 388
 —metergrade, **Vergleichung** der I 390*
Thomaseisen . . . I 650
Thornycroft-Kessel II 798, 799*
Tiefbehälter . . . II 575
 —brunnen III 714
 —gang II 655
Tiegelstahl . . . I 651
Tiere, Kraft u. Leistung II 2*; III 651*, 793*, 794*
Tirril-Schnellregler II 969
Titaneisen, Festigkeitszahlen I 512*
 —stahl, **Festigkeitsz.** I 512*
T-Momente, Verfahren der (kontin. Träger) III 150
Tolle-Regler . . . I 1029*
 —sches **Verfahren** (Schwingradberechn.) . . I 1008
Tombak I 694
 —rohr, **biegsames** . . I 973*
Ton I 701
 —rohr I 709; III 749
 —schiefer I 699
Tonnenblech . . . I 678
 —gewölbe III 334
Tor III 402, 403
 —, **Fabrik-** III 493
 —, **Schleusen-** . . . III 584
Torf, Heizwert . . I 475
 —isolation I 470*
Torgament I 706
Torpedo II 732*
Torsionsfedern . . I 616*
 —indikator II 328
**Touristen- (Vergnügungs-
 bahn)** III 970, 972
Trace, Uebertragung einer —
 ins Gelände III 40
Trachyt I 698
Tragfähigkeit d. Baugrundes III 230
 —fähigkeit d. **Pfähle** III 226
 —feder I 615; II 821; III 648, 914, 930
 —kraft I 564* u. f.
 —magnet II 404, 861
 —rolle II 583, 586; III 976
 —seil II 578, 579*, 585
 —seil, **Durchhang** II 578; III 972, 974
 —werk, **Dach-** III 374
 —, **Holz-** III 343
 —zapfen, **kugelförm.** I 848
 —zapfen-**Reibung** . . I 251
 —zapfen, **zylindr.** . . I 845
Tragwerk, Brücken-
 III 987

Tragwerk. Brücken-,
 Berechnung gedrückter
 Brückenglieder III 1024
 —, **Blechträger** . . . III 988
 —, **Durchbiegung d. Fachwerkträger** . . . III 1034
 —, **Fachwerkträgersysteme**
 III 1014
 —, **gewaltzte Träger** III 987
 —, **Knotenpunkte** III 1029
 —, **Krag- (Gerber-) Träger**
 III 1010
 —, **Querschnitte d. Hauptträgerstäbe** . . . III 1018
 —, **Querschnittsberechnung**
 III 1020
 —, **Stöße** III 1027
 —, **Verbindung getrennter**
 Stabteile bei Druckgliedern . . . III 1022
 —, **Vollwandige Bogen-träger** III 1013
Träger, s. a. Balken,
Brücken- u. Dachkonstr.,
Brückenbau, Fachwerk-
balken.
 — auf mehreren **Stützen**
 I 585, 587*; III 146
 — auf 4 u. 5 **Stützen** III 164
 —, **Beispiele f. d. Berechnung**
 biegungsbeanspruchter Träger I 578
 —, **Blech-** III 988
 —, **Dachbinder** III 374, 377
 —, **Fachwerk- auf 3 Stützen**
 III 166
 —, **genieteter, Widerstandsmomente**
 III 992*—999*
 —, **gerader, Auflagerdr.** I 543
 —, **gerader, Biegungsmoment** I 540
 —, **gerader, elastische Formänderung**
 I 549
 —, **gewaltzter** III 987
 —, **höhe d. Balkenbr.** III 1016
 —, **höhe, erforderl. f. d. Brückenb.**
 III 1008
 —, **kontinuierlicher. Näheres**
 s. **Balken auf mehreren**
Stützen III 146
 —, **Kran-** II 475, 481
 —, **Kragleis-** I 571
 —, **lagen (Hochbau)** III 360
 —, **mehrfach belasteter** I 573
 —, **mit unveränd. Querschnitt, Tragkraft,**
Widerstandsmoment, Elast. Linie, Biegungs-
moment, Auflagerdrücke, Durchbiegung
 I 564* u. f.
 —, **Parabel-** III 103, 378, 1035
 —, **statisch bestimmter und**
 unbestimmter . . . I 178
 —, **statisch bestimmter, Arbeitsgleich.** III 117, 119

Trägerverbindung III 362
 —, **vollwandiger auf 3 Stützen** . . . III 160
 —, **von gleichem Widerstande gegen Biegung**
 I 544, 580, 581* u. f.
 —, **von kleinstem Biegunswinkel a. Ende u. von kleinstem Durchbiegung**
 I 584*
 —, **unsymmetrisch belasteter**
 I 545
Träger, Theorie d. stat. unbestimmten —
 I 178; III 117
 —, **Arbeitsgleichung f. ein ebenes Fachwerk** III 117
 —, **Berechnung der w-Gewichte, Verfahren von Müller-Breslau** III 181
 —, **Biegunslinie** III 124, 128
 —, **Castiglianosches Prinzip d. kleinsten Formänderungsarbeit** . . III 139
 —, **Darstellung der Formänderungen vollwandig. Stäbe** III 122
 —, **Elastizitätsbedingung f. einen Stab** . . . III 117
 —, **Elastizitätsgleichungen**
 III 120
 —, **Formänderung vollwandiger Stäbe** . . . III 135
 —, **Lotr. Durchbieg.** III 124
 —, **Methode der elastischen Gewichte** III 127
 —, **Parabelförmige Einflußlinien** III 142
 —, **Stabzugverfahren** III 124
 —, **Temperatureinfluß**
 III 141
 —, **Uebergang vom Fachwerk zum vollwandigen Stabwerk** . . . III 140
 —, **Williot'scher Verschiebungsplan** . . . III 122
 —, **Winkeländerungen eines Stabdreiecks** . . . III 126
Trägheitsachse . . I 220
 —, **durchmesser** . . . I 222
 —, **ellipse** I 234
 —, **ellipsoid** I 232
 —, **gesetz (Galilei)**
 I 164, 215, 216
 —, **halbmesser** . . . I 221, 231
 —, **hauptachse** . . . I 232
 —, **hauptpunkt** . . . I 235
 —, **kreis** I 235, 547
 —, **widerstand**
 I 164, 208, 215, 216, 223
Trägheitsmoment, achsiales I 233
 —, **äquatoriales** . . . I 233
 —, **äquatoriale — üblicher Querschnittsformen**
 I 551, 552* u. f.

Trägheitsmomente,

- Bestimmung d. — I 225
- ebener Flächen u. Flächenstücke . . . I 233, 235
- f. parallele Achsen I 231
- geometr. Körper I 233
- geometrische . . . I 222
- polares . . . I 233, 590
- Sätze . . . I 231
- von Schiffsquerschnitten II 737, 738*
- von Walznormalsproben I 656* u. f.
- , Wasserlinien — II 659
- wichtiger Körper I 239
- wichtiger Linien und Flächen . . . I 236
- Traineur . . . II 538
- Trajektorie . . . I 97
- Traktorie, Huygenssche I 113

Transformator, s. a. Um-

- former . . . II 944, 973
- , Phasen- . . . II 952
- , Verluste . . . II 950
- , Wirkungsgrad . II 951
- , zulässige Erwärmung II 952
- Transmission** III 495, 506
- , Drahtseil- . . . I 833
- , Leistung von Hanf- und Baumwollseilen I 834*, 835*
- sdynamometer . II 329
- shebemasch. II 387, 414
- slager . . . I 872
- sweile I 851, 852*, 853*, III 495, 506

Transporteur, Band-

- II 538
- kosten . . . III 561
- mittel s. Fördermittel.

Transzendente Funk-

- tionen . . . I 76
- Gleichung . . . I 53
- Trapez, Kern** . . . I 595
- querschnitt . . . I 553
- , Randspannung I 610
- , Schwerpunkt . I 191
- regel- (Flächenberechn.) II 656, 657

Trafs . . . I 700, 713**Treibachse, verschiebbare**

- III 912
- kette . . . I 843
- öl f. Motoren II 249, 251*
- riemen, Leder- . I 750
- scheibe II 411, 452, 472
- Trenck-Regler . . I 1026*
- Trennschalter . . II 972

Treppe . . . III 406

- n, Eisenbeton- . III 299
- , Fabrik- . . . III 491
- , Schiffs- . . . II 712

Triangulation, Klein-

- III 20

Triangulation, Landes-

- s. dort . . . III 46
- Trickschieber II 157, 778;

Triebbradsatz . . . III 907

- stockverzahnung I 789
- wagen, Eisenbahn- s. a. dort . . . III 921
- wagen, elektrische (Zahnradbahn) III 962, 964
- wagen, Sammler III 924
- werkkanal . . . III 628
- werkswelle . I 851, 852*, 853*; III 495, 506
- werkzahnrad . . I 801

Trigonometrische For-

- meln . . . I 58, 62
- Punktbestimmung III 21
- Trimmm** . . . III 655
- , Berechnung . . II 684
- , Interpolationsverfahren mittels *F*-Kurven II 685
- , Leckrechnung II 686
- , Schiffsverlängerg. II 689
- , Trimmoment . II 684

Trinkwasser . . . III 699*

- brunnen . . . III 694
- Trochelde . . . II 736

Trockenlegung einer Bau-

- grube . . . III 231, 235
- mauer . . . III 789

Trocknen d. Holzes I 735**Trommelanker** II 890, 899

- , Förder- . . . II 470
- fördermaschine II 1029
- , Ketten- . . . I 886
- , Reibungs- . . . II 411
- , Seil- I 897; II 411, 449, 451, 452
- wehr . . . III 554
- wicklung . . . II 890

Trompetenrohr . . . I 973***Tropfverfahren (Abwasser-**

- reinigung) . . . III 761
- Trosse . . . II 709, 726

Tschibyschewscher

- Lenker . . . I 953
- Regel . . . I 137; II 657

TS- (Wärme-) Diagr. I 416**Tuff** . . . I 700

- , Festigkeitsz. . I 519*

Tür . . . III 329, 402, 403

- , Eisenbahnwagen- III 934
- , Fabrik- . . . III 493

Turbine, Dampf- s. dort

- II 220
- nkanal . . . III 636
- , Schiffsdampf- . II 780

Turbine, Wasser- s. a.

- Wasserkraftanlagen II 296; III 638
- , Berechn. u. Bau II 302
- , Beschaffung d. Arbeitsflüssigkeit f. Regler II 320
- , Bestimmg. d. Kraft-einschalters . II 312

Turbine, Wasser-, Be-

- zeichnungen . . II 298
- , Einfluß der Rohrleitung auf den Regler II 317
- , Entwurf, spez. Umlaufzahl . . . II 299
- , Francis-Turbinen II 302
- , Hydr. Druck u. Arbeitsvermögen des Wasserstrahls . . . I 318
- , Peltonräder . . II 309
- , Regelung . . . II 312
- , Tourenänderung, Schwungmassen II 314
- , Wirkungsweise, Einteilung . . . II 296
- , Zahlenwerte f. Regelung II 320

Turbodynamo . . . II 930**Turbulente Strömung** I 363**Turmdach** . . . III 349

- drehkran . . . III 528

—helm . . . III 339, 396**—kran** . . . II 500**—spitzen** . . . III 192**U.****U-Eisen** . . . I 660***U-Querschnitt** I 548, 554, 590**Ueberdruckdiagr.** I 1004**—druckturbine (Dampf-)**

- II 230, 781

—fall (Hydr.) I 272, 276, 277**—fall, Regen-** . . . III 748**—fallwehr** . . . I 277**—gang aus d. 90°-Teilg. in die 100°-Teilg. d. Quadr.**

- I 42*

—hitzer . . . II 25, 794**—hitzer (Schiffsk.)** II 794**—hitzter Dampf** I 440, 469;

- II 139, 141

—hitzung, Zwischen- II 141**—höhungsrampe, Schienen-**

- III 797

—kommutierung . . II 903**—kompondieren** . II 887**—lappungsnietung** I 777;

- II 34*, 35*

—lastung elektr. Maschinen

- II 915

—preise f. Kesselbleche**—setzung, Zahnrad-** I 786,

- 796, 799, 803

—setzungsverhältnisse für Werkzeugmasch. II 352**—spannungsgeschutzapparat**

- II 975

—stauung (Bewässer.) II 609**—wasserzapfen** . . II 808**Uferbefestigung** . . III 571**—deckwerk** . . . III 538**Uhlhornsche Klinkenkupp-**

- lung . . . I 870

Ulbrichtsche Kugel II 830
Umdrehungsfläche I 141
 —körper . . . I 141
 —körper, Schwerpunkt
 I 190, 194, 195
 —paraboloid (Hydrodynamik) . . . I 269
 —regler von Polysius I 822
Umlaufgeschwindigkeit I 149
 — (Gleichstromdyn.) II 898
 Umfassungsmauer . III 826
Umformer, Regel- II 981
 —, s. a. Transformator, Drehstrom-Gleichstrom- II 952
 Umgrenzungslinie (Eisenbahnprofil) III 774, 775, 776, 888, 925
Umkehrbarkeit v. Wärme-
 prozessen . . I 414
 —ung (Determinanten) I 49
 Umkleideraum . . III 511
 Umladeeinrichtung (Eisenbahn) . . . III 838
Umlaufpumpe . . II 787
 —, Schleusen- . . III 591
 —zahl, spezifische (Turb.)
 II 299
 —zahl v. Drehstrommotoren
 II 984*
 —zähler . . . II 831
 Umrechnungstafel, 90°-Teilg.
 in 100°-Teilg. d. Quadr.
 I 42*
Umsteuermaschine II 788
 —ung II 182, 779; III 907
 —ung, Kulissensteuerungen
 II 183
 —ung mit loseem od. verschiebbarem Exzenter
 II 182
 —ung mit unrunder Korp-
 pern . . . II 194
 —ung, Lenkersteuerungen
 II 191
 —ung, Umkehrung d. Dreh-
 ungsrichtung . II 182
 Umwandlung d. Koordinaten
 I 92, 118
 Unabhängigkeit, Prinzip der
 I 152
 Unbestimmte Form eines
 Bruches . . . I 69
 Unbeweglichkeitsgrad
 (Regler) . . . I 1016
 Unempfindlichkeitsgrad
 (Regler) . . . I 1016
 Unfreie Bewegung . I 210
Ungleichförmigkeits-
grad . . . I 150
 — der Regler I 999, 1015,
 1018, 1020; II 314, 315
 — (Wechselstrommaschine)
 II 937*
 Union, internationale I 1067

Unipolarmaschine . II 889
 —versaleisen I 655; III 986
 Unstetigkeitsfläche I 362
 Untersuchung . . III 646
Unterbau, Landstraßen-
 III 659
 —, Vergnügungsb. III 974
 —, Eisenbahn- . . III 786
 —, —, Ausführung d. Erd-
 arbeiten, Erdgewinnung
 III 790, 791*
 —, —, Bahnkörper, Pla-
 num, Krone . III 786
 —, —, Entwässerg. III 787
 Unterfeuerung . II 12, 47
 Untergestell, Eisenbahn-
 wagen . . III 927, 929
 Untergurt, Formänderg. in-
 folge v. Spanng. III 1007
 Unterkommutierung II 903
 Unterlagplatte, Schienen-
 III 804, 809
 Unterlegscheibe (Gewicht)
 I 762*
 Unterleitung (Straßenb.)
 II 1018
 Unterwasserzapfen II 306
 Unterwindgebläse . II 653
 Unterzug . . . III 343
 Ü-Stücke . . . I 958, 960*

V.

Vakuumheizung . III 460
 —meter . . . II 322
Vanadiumstahl, Festigkeits-
 zahlen . . . I 512*
 Variationen . . . I 49
 Vautiersche Formel (Draht-
 seilbahn) . . III 972
Vektor, Dreh-, Schiebungs-
 I 154
 —, Moment- . . . I 170
 —rechnung . . . I 124
Ventil, Absperr- I 995
 —, Automobil- . . II 814
 —belastung, wirksame I 986
 —, Dampfmasch.- II 168
 —erhebungsdiagramm II 176
 —erhebungskurve . II 281
 —, Gebläse- . . . II 645
 —, Hub- I 984
 —klappe, Luftpumpe II 215
 —, Klappen- . . . I 993
 —, Lokomotivmasch. III 907
 —, Rohrbruch- . . I 996
 —, Sicherheits- (Dampfkr.)
 I 465; II 72, 81. 800*;
 III 902
 —, Sicherheits- (hydraul.
 Presse) . . . I 993
 —stenerung, Dampfmasch.
 II 149, 168
 —, Verbrennungsmotor-
 II 280
 —, Widerstandsz. . I 306

Ventilator II 626, 633*,
 634*, 635*
 —, Berechnung . . II 627
 —, Gruben- II 631, 634*,
 635*
 —, Konstruktion . . II 630
 —, Lüftungs- . . . III 431
 —, Schaufelform . II 630
 Venturi-Wassermesser I 339
Verankerung (Dampfkr.)
 II 88, 52, 89, 92, 101
 — (Grundbau) . . . III 232
 — (Hochbau) . . . III 362
 Verbindung, chem. I 630*
 Verbleites Eisenblech I 679
 Verblendsteine . . I 708
Verbrennung . . I 480
 —, Brennstoffe . . I 474
 —, Luftbedarf . . I 482
 —, Verbrennungsgasförmiger
 u. flüssiger Brennstoffe
 I 489
 —, Verbrennungserzeug-
 nisse . . . I 488
 —, Verbrennungsleistung
 I 482
 —, Verbrennungstemperatur
 I 484; II 41
 —, Verbrennungswärme
 I 480
 —, Vergasung . . . I 499
 —, Wärmeverlust durch die
 Verbrennungsgase I 486,
 487*
Verbrennungsmotor,
 Allgemeines . II 245
 —, Arbeitsverfahren II 245
 —, Ausführungsformen
 II 267
 —, Auspufftopf. . II 286
 —, Brennstoffe II 248, 251*
 —, Brennstoffverbrauch
 II 250*, 251*
 —, Dynamische Berechnung
 II 252
 —, Einzelteile . . . II 274
 —, Ermittlung der Haupt-
 maßse II 263
 —, Fundament . . . II 288
 —, für Luftfahrzeuge II 816
 —, für Wasserfahrz. II 815
 —, Gestell II 267
 —, Heizwert, Luftbedarf,
 Ausnutzung d. Brenn-
 stoffe II 251*
 —, Innere Arbeitsvorgänge
 II 258
 —, Kolben . . . II 277, 813
 —, Kolbendruck . . II 275
 —, Kraftgasanlagen II 288
 —, Kühlung . . . II 286, 814
 —, Kühlwasserbedarf II 250
 —, Kurbelgehäuse II 813
 —, Kurbelwelle II 279, 811
 —, Leistungs-, Vergleichs-
 zahlen . . . II 266, 267*

Verbrennungsmotor,

Leitungen . . . II 287
 —, Mehrzylindermaschine
 II 272

—, Pendelschwingungen b.
 Antrieb von Dynamoma-
 schinen . . . II 937

—, Pleuelstange . . . II 811

—, Schwungrad . . . II 283

—, Steuerung
 II 282, 811, 814

—, Tafel d. Rohranschlüsse
 II 287*

—, Triebwagen . . . III 923

—, Ventil . . . II 280, 814

—, Vergaser . . . II 808

—, Vergleichskoeffizienten
 II 267

—, Viertakt . . . II 246, 247

—, Zubehör . . . II 286

—, Zündung . . . II 249, 809

—, Zweitakt . . . II 247

—, Zylinder 1955; II 277, 811

Verbund-Dampfmaschine

II 131*, 132*, 133*, 142,

144, 201

—Dampfmaschine, ausge-
 führte — . . . II 764*

—Dynamomaschine II 883

—Dynamomaschine, Paral-
 lelschaltung . . . II 957

—Dynamomaschine, Schal-
 tung u. Regelung II 955

—maschine, Lokomotiv-
 III 915

Verdampfung II 42, 793

—versuche . . . II 111

—swärme . . . I 399*, 433

Verdichten des Erdreichs
 III 236, 237

Verdrängungsschwer-
punkt II 656, 664*, 667

—widerstand . . . I 324, 328

Verdrehungswinkel, verhält-
nismäßiger I 590, 591*

Verdunstg. d. Regenwassers
 III 565, 703, 738

Vereinslenkachse . . . III 931

Verengungsziffer (Turbinen)
 II 299

Vergaser II 808

—ung I 499

Verglasung III 415

Vergnügungsbahnen

(Touristenb.) . . . III 972

—, besond. Bauart. III 979

—, Betriebsarten . . . III 972

—, Bremsen III 977

—, Hochbauten III 976

—, Kraftbetrieb III 979

—, Linienführung III 972

—, Seilbau III 970, 975

—, Streckenbau III 974

—, Wagen III 977

Vergößerungsfaktor

(Elektrot.) . . . II 935

Verkehrslasten von Brücken

III 65, 67, 71, 79, 81, 82,

1093

Verkupfertes Blech . . . I 679

Verkürzung eines Stabes
 I 528

Verladebahn II 533

—brücke II 531

—brücke, Eisenbeton III 312

—einrichtung, Hafen-
 III 576

—seilbahn II 592

Verlängerung (Festig-
 keitslehre I 502

— eines Stabes I 528

Verlustziffer (Magnetism.)
 II 861

Vermessungskunde, All-
gemeines III 1

—, antliche Vorschriften
 III 4, 19, 30

—, Anordnung v. Polygon-
 zügen III 17

—, Ausgleichungsrechnung
 III 49

—, Höhenmessung
 III 26

—, Hilfsmittel z. Senkrechti-
 u. Wagerectstellen v.
 Linien, Achszapfen,
 Drehachsen III 8

—, Instrumente und Hilfs-
 mittel z. Abstecken kon-
 stanter Winkel III 4

—, Kleintriangulation III 20

—, Landestriangulat. III 46

—, Längenmessung III 2

—, Linsen III 11

—, Tachymeteraufnahme
 III 35

—, Winkelmessinstrumente
 III 14

Vermittelnde Beobachtung
 (Vermessungsk.) III 51

Vernickeltes Blech . . . I 679

Verpuffungsmotor
 II 246, 254

Versatz, Spül- od. Schlamm-
II 564

Verschiebearten (Eisenb.)
 III 841

—bahnhof III 840

—dienst III 840

Verschiebung, virtuelle
 I 174, III 118

—, virtuelle in einem Stab-
 werk III 140, 141

—, willkürliche I 174

—splan, Williot'scher (Statik)
 III 122

Verschränkte Stützensen-
rechte (kontinuierliche
Träger) III 148

Versenken d. Wassers
 III 602

—ungsarbeiten (Senkkasten)
 III 256

Versickerung III 565, 703,

704*, 738

Versteifte Hängebrücke
 III 180

Versteifungsbalken v. Ket-
tenbrücken III 179, 181

Versteifungswinkel III 990

Versteinerungsgründung
 III 262

Verwandlungstafeln I 1056*

Verzahnung I 784, 785*

Verzinktes Blech . . . I 679

V-Fläche (Statik) . . . III 115

Vianellosches Verfahren
 (Knickfestigk.) I 537

Vieleck I 134*

—, regelmäfs., Verhältnis-
 zahlen I 135*

—messung III 17

—, Schwerpunkt I 192

—, Trägheits- u. Wider-
 standsmoment I 237, 553

Vierblatt (Kurve) . . . I 114

—eck (Fl.-Inh.) . . . I 134

—eckfläche, Trägheits-
 moment I 237

—eck, Schwerpunkt I 192

—fachexpansionsmaschinen,
 ausgeführte II 764*

—taktmotor II 246, 247

—taktmotor, Bauarten II 267

Virtuelle Verschiebung,
 I 175; III 118

— Verschiebung in einem
 Stabwerk III 140, 141

Visier III 13

Völligkeit d. Dampfδια-
gramme II 140

—sgrad (Festigkeit.)
 I 505, 507*

—sgrad (Schiffb.) . . . I 323;

II 656, 666; III 560

Volt II 857, 858

—ampere II 857

Volumetrischer Wirkungs-
grad II 641

Vorausströmung II 137, 151

Voreilen, lineares II 150

—winkel II 151, 183

Voreinstromung (Dampf.)
 II 138, 151

Vorfeuerung II 48

Vorgelege, Reibräd.- I 816

—, Saxonia I 821

—, Werkzeugmasch. II 352

Vorschriften s. Amtl. Vorschr.

Vorschubgeschwindigkeit
 (Werkzeug) II 349, 350*

Vorspannung I 754

Vorteilhafteste Querschnitte
 v. Kanälen I 312

Vorwärmer II 65

Voutendecke I 722; III 297

—platte III 271, 410

—verstärkung III 271

Vulkanfaser . . . I 804
 -- Kupplung . . . I 870

W.

Waffelblech . . . I 678
 Wage . . . II 323
 Wagenschneide . . . I 850
 --, Eisenbahn- s. dort.
 --, Grubenbahn- . . . III 970
 --, Kipp- . . . II 515, 520*
 --ladung geschichteter Körper . . . I 639*
 --schuppen (Eisenb.) III 867
 --, Strafsen- . . . III 645*
 --, Strafsenbahn- . . . III 1019, 1022*, III 646*
 --, Vergnügungsb. . . III 977
 --, Zahnradbahn- . . . III 968
 Waggonkipper . . . II 525
 Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . I 85
 Walmdach . . . III 348
 Walschaert-Umsteuerung . . . II 187
 Walzeisen I 654, 656* u. f.
 --e, Dampf- III 67, 648, 665
 --eisen f. d. Brückenb. III 986
 --, Normalprof. I 656* u. f.
 --enlager (Brücke) III 1041, 1042*
 --enwehr . . . III 554
 --e, Pferde . . . III 648, 664
 --e, Strafsen- . . . III 648, 664
 --werk . . . I 652
 Wälzhebel . . . II 170
 --ungskreis . . . I 788
 Wand . . . III 326
 --auflager . . . III 360
 --, Eisenbeton- . . . III 302
 Wandern d. Schienen (Verhindern) III 806, 809, 974
 Warmaufziehen . . . I 625
 --wasserheizung . . . III 444
 --wasserheizung, Fern- . . . III 463
 Wärmeabgabe d. Beleuchtung II 850; III 423*
 --abgabe d. Menschen . . . III 423
 --absorption . . . I 409
 --äquivalent, mechan. I 413
 --arbeit, indizierte, Verbrennungsmotor . . . II 257
 --ausdehnung, Beton III 284
 --ausdehnung, Eisenbahnschiene . . . III 811
 --austausch zw. Dampf u. Zylinderwand . . . I 445
 --bilanz . . . II 112
 --, Dämpfe . . . I 430
 --diagramm . . . I 416
 --durchgang . . . I 404
 --durchgangsziffer III 500*
 --eigenschaften vollkommener Gase . . . I 416

Wärmeeinfluss auf Eisenkonstruktionen III 76, 81, 167, 176
 --einheit . . . I 393, 412
 --entwicklung verschied. Lichtquellen . . . II 850*
 --grade, geeignete für geschlossene Räume . . . III 439*, 498*
 --, Grundsätze der Thermodynamik . . . II 411
 --inhalt . . . I 415
 --leitzahlen . . . I 405*
 --mechanik . . . I 388
 --prozess . . . I 412
 --, Schmelz- . . . I 399*
 --schutz I 471*; III 442*
 --, Strömende Bewegung v. Gasen und Dämpfen . . . I 458
 --tönung . . . II 865
 --übergangszahl I 401, 402*, 403*, 404*
 --übertragung von Dampf an Luft . . . III 440*
 --übertragung von Luft an Luft . . . III 441*
 --übertragung von Wasser an Luft . . . III 440*
 --, Verbrennung . . . I 474
 --, Verdampfungs- . . . I 399*, 433
 --, Wärmeübergang durch Berührung u. Leitung . . . I 401
 --, Wärmeübergang durch Strahlung . . . I 409
 Wärmeeigenschaften der Körper I 388, 647
 --, Aggregatformänderung . . . I 397*
 --, Ausdehnung der Körper durch Wärme . . . I 391
 --, Lösung von Gasen in Wasser . . . I 399*
 --, spezifische Wärme I 393, 394*, 395*
 --, Temperaturmessung . . . I 388
 --, Temperatur von Mischungen . . . I 396*
 --, Zähigkeit . . . I 400*
 Wärmeverlust durch die Verbrennungsgase I 486, 487*
 --e einer Dampfkesselanlage, Versuchsnormen . . . II 110
 --eines Kanals . . . III 458
 --geschlossener Räume . . . III 436*
 --in Fabriken . . . III 500*
 Warrens Kegelfräderfräsmaschine . . . II 873
 Warzenblech . . . I 678
 Waschanlage III 511

Wasserabflussmenge III 533, 618, 620*, 703
 --abflussmenge bei Landstraßenbau III 660*
 --abscheider II 203; III 454
 --, Ausfluß s. u. Ausfluß.
 --bedarf auf Bahnhöfen . . . III 854
 --behälter, s. u. Behälter . . . III 857
 --beschaffenheit III 699, 855
 --, Bewegung in Flußkrümmungen . . . III 536
 --bremse . . . II 328
 --, Dichte u. Volumen I 392
 --, Druck freier Wasserstrahlen . . . I 318
 --, Durchfluß s. u. Durchfluß
 --, Druckprobe (Dampfkr.) . . . II 82
 --düse . . . I 317
 --, Elastizität . . . I 265
 --enteisung . . . III 719
 --fahrzeugmaschine II 815
 --fassung . . . III 628, 705
 --gas I 500*, 501; II 838
 --gas, Verbrennung I 493*, 494*
 --gasschweißen . . . I 689
 --glas . . . I 731
 --haltungsmaschine s. dort.
 --härte . . . III 700
 --heizung . . . III 444
 --kalk . . . I 713
 --, Kesselspeise- II 65, 68;
 --III 855
 --kran . . . III 859
 --, Krit. Zust. . . I 431*
 --leitung . . . III 729
 --leitung f. Eisenbahnwerkstätten . . . III 941
 --linie . . . II 656, 659, 660*
 --linienformen . . . II 666
 --linienskala . . . II 669
 --löslichkeit v. Gasen I 399*
 --menge, Durchfl. d. Rohrleitungen . . . I 291*
 --mengenkurve (Flußbau) . . . III 533
 --messer . . . I 339; II 323
 --mörtel . . . I 712, 717
 --motoren, Turbinen II 296
 --, Wasserräder II 290
 --pfosten . . . III 860
 --rechtliche Bestimmungen (Preußen) . . . III 614
 --reinigung, Speise- II 68
 --rohr, Amtl. Vorschriften . . . II 89, 93
 --rohrkessel . . . II 15*, 796
 --schlaggeschwindigkeit . . . III 733
 --schloß . . . III 629, 706
 --schnecke II 596; III 600
 --, See-, spez. Gew. I 284,
 --III 661
 --, Siedepunkte . . . I 393*

Wasser, spez. Wärme I 393*
 —sprung I 312
 —stand, gewöhnlicher
 Binnen- III 600
 —standzeiger (Dampf.)
 II 76, 80, 81, 800; III 902
 —station III 855, 856
 —, Stofs des — s. I 318
 —strahl, Hydr. Druck u. ~
 Arbeitsvermögen I 318
 —strahlpumpen II 598
 —strahl, Steighöhe und
 Sprungweite v. — I 317*
 —straßen, deutsche III 569*
 —, Temperatur, Dichte, Vo-
 lumen I 392*
 —, Trink- III 699*
 —turm III 401, 726, 857
 —turm, Eisenbeton- III 304
 —verbrauch III 467, 700*
 bis 702*
 —verhältnisse von Flüssen
 III 705*
 —versenkung III 602
 —verdrängung (Displace-
 ment) I 267; II 655, 664*
 —wage III 9
 —, Weichmachen des —
 III 721
 —, Zähigkeit I 400*
 —zoll I 340
Wasserbau III 532
 —, Flußbau, s. dort III 532
 —, Flußmündungen, See-
 kanäle III 594
 —, Kanalbau, s. dort III 558
 —, Landwirtschaftlicher,
 s. dort III 599
 —, Schiffshebewerke III 592
 —, Schiffsschleusen, s. dort
 III 576
Wasserdampf, s. a. unter
 Dämpfe, Gas I 433
 —, Ausfluß I 460
 —, Ausflußformeln I 464
 —, Luftmischung I 421, 422*
 —, nasser I 431
 —, spez. Wärme d. über-
 hitzten — I 441*
 —, Thermodyn. Werte I 417,
 418*, 431, 432*, 433, 434*
 bis 438*
 —, überhitzer I 440, 441*
 —, Zähigkeit I 401
Wassergewinnung
 III 703
 — aus Flüssen und Seen
 III 715
 —, Brunnen III 708
 — für Bahnhöfe III 855
 —, Niederschlag, Versicke-
 rung, Abfluß III 703
 —, Quellfassung III 705,
 706*
 —, Sammelgänge, -rohre,
 Stollen III 707

**Wasserhaltungs-
 maschine** II 619
 —, elektrische II 624
 —, Gestänge — II 619
 —, hydraulische II 624
 —, Unterirdische II 623
Wasserkraftanlagen
 III 616
 —, Beziehg. zw. Aufschlag-
 wassermenge u. Wasser-
 mangel III 624*
 —, Beziehg. zw. Stauhöhe
 u. Kosten III 626*
 —, Entwurf III 617
 —, Ertragsberechnung
 III 642, 643*
 —, Fernübertragung der
 Wasserkräfte III 638
 —, Gefälle III 626
 —, Kosten d. Wasserkräfte
 III 641, 642*
 —, Krafttarif III 644
 —, Kraftwerk III 635, 637*
 —, Vereinigung v. Wasser-
 u. Wärmekraft III 641
 —, Vorarbeiten III 616
 —, Wasserkraftnutzung an
 kanalisierten Flüssen
 III 639
 —, Wassermenge III 618
Wasserleitung III 729
 —, Erwärmung u. Abkühlg.
 d. Wassers III 734
 —, Hauptzuleitg. III 729
 —, Rohrnetz einzelheiten
 III 732
 —, Rohrnetzentswurf III 730
Wasserräder II 290
 — m. Kulliseneinlauf II 293
 — mit Spannschützen II 296
 — m. Ueberfalleinlauf II 295
 —, überschlächtige II 291
Wasserstoff I 632, 638
 —, Krit. Zust. I 431*
 —, schweißverfahren I 638
 —, Thermodyn. Werte
 I 418*
 —, Verbrennung I 492*,
 493*, 494*
Wasserversorgung
 III 699
 —, Aufbereitung III 716
 —, Sammlung (Hoch-
 behälter) III 722
 —, Wasserbedarf III 700*,
 701*, 702*
 —, Wasserbeurteilg. III 699
 —, Wassergewinnung s. a.
 dort III 703
 —, Wasserverteilg. III 729
Watt I 200; II 859
 —loser Strom II 873
 —sches Parallelogr. I 953
 —stundenzähler II 975
Wechselgeschwindigkeit
 d. Poles I 161

Wechselgetriebe I 814
 —kreis I 162
 —pol I 162
 —polmaschine II 920
 —wirkungsgesetz I 164
Wechselstrom, Allge-
 meines II 870
 —, einphasiger, Stromver-
 teilung II 981, 991
 —, Grundgesetze II 870
 —, Serienmotor II 981
 —, Wichtigste Mehrphasen-
 systeme II 876
 —, Zeichn. Darstellg. II 875
Wechselstrommaschine
 II 919
 —, Bauart d. Stromerzeuger
 II 919
 —, Berechnung II 924
 —, Charakteristik II 926
 —, Drehfeld, Drehstrom-
 motoren II 938
 —, Erwärmung II 930
 —, Hauptabmessungen
 II 929
 —, Mechanische Anforder-
 ungen b. Parallelbetr.
 II 932
 —, Parallelschaltung II 967
 —, Regelung II 969
 —, Regelung der Motoren
 II 979
 —, Schaltung II 963, 967
 —, Turbodynamos II 930
 —, Wicklung II 921
Wegebau III 652
 —rampe I 141 (Inh.)
 —recht III 683
 Wegübergang (Eisenbahn)
 III 828
Wehr I 277; III 627
 —anlagen III 550
 —, bewegliches III 551
 —, festes III 550
 —, Rau- III 542
Weiche, Eisenbahn-
 III 834, 835
 —, —, geometrische An-
 ordnung III 819
 —, —, Gestaltung d. Teile
 III 815
 —, —, Mittellinien b. Ab-
 zweigung aus der Krüm-
 mung III 826
 —, —, Mittellinien f. Gleis-
 pläne III 823
 —, Grubenbahn- III 970
 —, Straßebahn- II 1011
 —, Zahnradbahnen- III 957
 —nwinkel III 823*, 824*,
 825*, 826*
 Weichlot I 696*, 697*
 Weichmachen des Wassers
 III 721
Weisbachsche Zahl λ I 293
 Weisblech I 678

Weißmetall . . . I 636, 696
 —metall, Festigkeitsz. I 517
Weizenmühle, Arbeitsdiagramm . . . III 475
Weißblech . . . I 679, 680*
 —, Trägheits- und Widerstandsmoment I 555*
 —dach . . . III 419, 422, 477
 —, Zink- . . . I 691*
Welle . . . I 851, 854
 —, biegsame . . . I 855*
 —, komprimierte . . . I 855
 —, Schiffs- . . . II 776
 —, leitung . . . III 495, 506
 —, widerstand . . . I 325
Wellrohrkessel . . . II 9
Wendegeräte . . . I 814
 —, Kreis . . . I 161
 —, pol (El.) . . . II 906
 —, latte . . . III 28
 —, pol . . . I 161
 —, pol (Dynamom.) . . II 906
 —, punkt . . . I 96
Werkzeugschleifmaschine.
 —, Schneid- . . . II 345
 —, maschinen, Holzbearbeitungsmaschinen II 376
 —, maschinen, Metallbearbeitungsmaschinen II 332
Westphalsche Decke III 414
Weggewicht (versteifte Kettenbrücke) . . III 178
 — (Stat. unbest. Träger) . . III 127, 128, 133, 137
 — (Zweigelenkbogen) . . III 168
Wheatstonesche Brücke . . II 862
Whitworth-Gewinde . . I 760, 762*, 763*, 765*
Wicklung, Gleichstrom.
 —, Magnet- (Gleichstromdynamo) . . . II 901
 —, stufen . . . II 890 bis 892
 —, Transformator- . . II 946
 —, Verbund- . . . II 888
 —, Wechselstrommaschinen . . II 921, 922, 923
Widder, hydraul. II 598
 —, stofs . . . III 733
Widerlager, Brücken.
 —, III 1089
 —, Gewölbe- . . . III 225
 —, stärke, Gewölbe- III 336
Widerspruchsgleichung . . III 19
Widerstand, Anlaß.
 —, II 917, 943
 —, Eisenbahn- a. Steigung. u. i. Krümmungen . . III 769, 770
 —, elektr. . . II 857, 858
 —, elektrischer Belastungs- . . II 918, 919, 979, 980

Widerstand, elektrischer
 —, Leitungs- . . II 862, 863*
 —, Fahrzeug- . . II 806, 807*
 —, gegen Verdrängung einer Flüssigkeit . . . I 324
 —, magnetischer . . II 861
 —, Metall- (Elektrotechn.) . . II 918
 —, scheinbarer (Richtungs-) . . II 872
 —, sgröfse eines Querschnitts . . I 546
 —, shöhe (Hydr.) I 283, 290*
 —, verschieden geformter bewegter Körper im Wasser . . I 328
 —, v. Flüssigkeiten gegen bewegte Flächen u. Körper . . I 323
 —, Wellen- . . . I 325
Widerstandsmoment, erforderl. I 564* u. f.
 —, für Straßenbrücke . . III 1081*—1084*
 —, e üblicher Querschnittsformen I 552* u. folgte.
 —, e von Walzprofilen I 656* u. folgte.
 —, gegen Drehung . . I 590
 —, gegen Biegung . . I 543
 —, v. Gurtplatten III 990, 991*
Widerstandszahl (Hydr.) . . I 283, 285
 —, für Absperrvorrichtungen . . I 306
 —, für Ausfluß von Gasen u. Dämpfen . . I 461
 —, für Eisenbahnen III 768
 —, für Gas- u. Dampfrohrleitungen . . I 468*
 —, für gerade kreisförmige Rohrleitungen . . I 292
 —, für kreisf. Rohrstücke z. Einleitg. od. Aenderung d. Stromrichtg. . . I 299
 —, für Lokomotiven III 769
 —, für Rohrstücke mit zentraler Querschnittsänderung . . . I 300
 —, für Schiffe . . . I 328
 —, Tafelversuche . . I 329
 —, Ventil . . . I 986
Widmannsteuerung II 172
Wildbachverbauung III 544
Williotcher Verschiebungsplan . . . III 122
Wind . . . I 368
 —, druck I 369, 371; II 684*
 —, III 61, 75, 602*
 —, druck auf Turmspitzen . . III 193
 —, druck (Schiffbau) II 681, 684*
 —, durchschnittl. Wehen . . III 601

Windgeschwindigkeit
 —, I 369; II 2, 684*
 —, kessel . . II 612, 614, 616
 —, rad . . . II 2; III 601
 —, rose . . . II 4
 —, skala . . . II 634*
 —, stärke . . . I 369, 370*
 —, turbine . . . II 3*
 —, verband . . . III 77
 —, verband (Brückenh.) . . III 1045, 1088
Winde . . . II 382, 410
 —, Bau- . . . III 525
 —, Kran- . . II 475, 478, 504, 506
 —, Obergurtlauf- . . II 504
 —, Schiffslade- . . II 711*
 —, Untergurtlauf- . . II 504, 506*
 —, Zahnstangen- . . II 386
Winkelabsteckung III 4
 —, änderung (Festigkeitst.) . . I 502, 506
 —, a. steif. Knoten III 136
 —, beschleunigung . . I 149
 —, geschwindigkeit . . I 149, 151*
 —, geschwindigkeit, Parallelogramm der . . I 157
 —, messung (Vermessungsk.) . . III 4, 14
 —, prisma . . . III 6
 —, rad . . . I 794
 —, spiegel . . . III 4
 —, zahnrad . . . I 805, 806
Winkelleisen für Kessel, Vorschriften II 88, 91
 —, f. Schiffbau I 664*, 668*
 —, gleichschenklige I 656*
 —, ungleichschenkl. I 658*
 —, Wulst- f. Schiffb. I 666*
Wipper . . . II 530
 —, hammer . . . II 335
 —, kran . . . II 494, 502
Wirbel (Hydrodyn.) I 350
 —, nde Strömung . . I 363
 —, strom, magnetischer II 860
 —, verlust . . . II 897, 926
 Wirksame Fläche . . I 593
Wirkungsgrad, Dampfmaschinen II 116, 126*
 —, des Kreisprozesses I 427
 —, Getriebe- . . . I 249
 —, hydraulischer . . II 299
 —, indizierter a. Radumfang (Dampfturbine) II 226
 —, indizierter der Dampfmaschine . . . I 443
 —, indizierter d. Luftkompressors . . . I 430
 —, Schrauben- . . . I 257
 —, thermischer der Dampfmaschine . . . I 443
 —, thermischer, Verbrennungsmotor . . II 257

Wirkungsgrad, Transformator- . . . II 951
 —, volumetrischer (Luftpumpe) . . . II 641
Wirtschaftl. Leitungsquerschnitt (elektr.) II 985
 — Rohrweite (Wasserleitg.) III 730, 732*
Wismutlot . . . I 696*
Wöhler'sche Belastungsversuche . . . I 530
Wohlfahrtseinrichtung III 511, 950
Wohnkolonie . . . III 698
Wolframlampe . . . II 841
 —stahl, Festigkeitssz. I 512*
Woltmannflügel . . . II 823
Woodmetall . . . I 697
Woodfmaschine II 131*, 132*, 142
Wucht . . . I 198
 —satz . . . I 1011
Wulstisen f. Schiffb. I 666*
Wurfbewegung . . . I 208
 —rad . . . II 596; III 600
Würfelstfestigkeit III 278
Wurzeln . . . I 2*, 45, 46
 — d. Einheit . . . I 47
 — einiger Brüche . . . I 43*
Wüstzahnrad . . . I 805, 806

X.

Xyolith . . . I 705

Y.

Yarrow-Kessel . . . II 798

Z.

Z-Eisen . . . I 662*
 — für Schiffbau . . . I 667*
Z-Querschnitt . . . I 547
Zabel-Regler . . . I 1026*
Zähigkeit (Festigkeitsl.) I 504
 — (Wärme) . . . I 400
 — (Stahlkugel) . . . I 881
 —sfaktor . . . I 400*
 — von Flüssigkeiten I 861, 362*
Zahlenwerte, wichtige I 43*
Zahngesperre . . . I 906
 —gleiten . . . I 788, 793
 —kettengetriebe, Renolds I 844
 —kupplung, Hildebrandts I 865
 —reibung . . . I 259, 787
 —sättigung (Anker) II 896
 —stange . . . I 789, 793
 —stange, —Rad (Zahnradbahn) . . . III 952
 —stangenwinde . . . II 886
 —stangeneinfahrt III 956
 —teilung . . . I 785*

Zahnrad I 784, III 507
 —, Arbeits- . . . I 801
 —, Arbeitsverlust . . . I 259
 —bearbeitungsmaschinen . . . II 369
 —, Berechnung . . . I 800
 —bremse . . . III 977
 —, Elliptische Räder I 799
 —, Evolventenverzahnung I 790
 —formmaschine . . . II 333
 —getriebe (Automobil) II 818
 —, Gewicht . . . I 812, 813*
 —, Kegelrad . . . I 794, 807
 —, Kraft- . . . I 800
 —lokomotive s. Lokomotive III 958, 959
 —, Radkörper . . . I 810
 —, Räder für sich kreuzende Wellen . . . I 795
 —reibung . . . I 259, 787
 —, Rohhaut . . . I 803
 —schleifmaschine . . . II 374
 —, Schnecke, Schneckenrad I 796, 807
 —, Verzahnung I 784, 785*
 —vorgelege . . . II 353, 354
 —, Wahl zw. Evolventen u. Zykloiden . . . I 793
 —, Zahnberechnung I 800, 801*
 — (Zahnradb.) III 952, 966
 —, Zykloiden- . . . I 786
Zahnradbahnen III 951
 —, Bahnen mit glatter Mittelschiene . . . III 951
 —, Bahnhöfe . . . III 958
 —, Bremsen . . . III 966
 —, elektr. Lokomotiven, Triebwagen III 962, 964
 —, Fahrgeschwindigkeit III 968
 —, Fahrzeuge . . . III 958
 —, Gemischte Zahnrad- u. Reibungsbahnen III 952
 —, gemischte, Oberbau III 956
 —, gemischte, Schiebebühnen, Weichen III 957
 —, gemischte, Streckenbau III 952
 —, Lokomotive III 958, 962
 —, reine . . . III 951
 —, reine, Betriebskosten, Anlagekosten III 951
 —, Zahnstangeneinfahrt III 956
Zange, Last- . . . II 405
 —nbremse . . . III 978
Zapfen . . . I 845
 —, Heißlaufen I 847, 848, 849
 —, Kamm- . . . I 849
 —, Kurbel- . . . I 933
 —reibung . . . I 251

Zapfen, Schleusentor- III 587
 —schneidmaschine II 381
 —, Spur- . . . I 848
 —, Spur-(Turb.) . . . II 806
 —, Trag- . . . I 845, 848
Zapfhahn . . . III 860
Zeitkonstante (Dynamomasch.) . . . II 912
 —vergleichung . . . I 1058*
Zellenschalter II 956, 961, 975
 —speicher . . . II 565
Zelluloid . . . I 685
Zeltdach III 109, 349, 395
Zement . . . I 709
 —, Eisen-Portland- I 716
 —, makadam . . . III 675
 —, Metall-, Festigkeit I 517
 —mörtel . . . I 712
 —mörtel, Festigkeitszahlen I 518*, 519*, 520*
 —, Nettogewicht . . . I 716
 —, Portland- . . . I 684, 714
 —rohr I 720*, 721*; III 750*, 751*
 —, Roman- . . . I 713
 —stahl . . . I 652
Zentralachse . . . I 173
 —ellipse . . . I 234
 —ellipsoid . . . I 233
 —kraftfeld . . . I 195
Zentralheizung III 444
 —, Dampf- . . . III 451, 453
 —, Dampfwarmwasser- III 454
 —, Dampfwasser- . . . III 455
 —, Heißwasser- . . . III 451
 —, in Verbindung m. Kraftbetrieben . . . III 458
 —, Luft- . . . III 455
 —, Pumpen- . . . III 451
 —, Schnellstrom- . . . III 450
 —, Wärmeabgabe III 440*
 —, Warmwasser- . . . III 444
Zentrator-Kupplung I 816
Zentrifugalbeschleunigung . . . I 148, 150
 —kraft . . . I 208
 —kräfte am rotierenden starr. Körper . . . I 222
 —kräfte, Diag. d. — I 223
 —moment ebener Flächen . . . I 233, 234
 —moment, Sätze . . . I 232
 —pumpe . . . II 599
Zentripetalbeschleunigung . . . I 150
 —kraft . . . I 208
Zerfallsfestigkeit . . . I 507*
 — II 333
Zeunersches Schieberdiagr. II 152, 154, 160, 162, 168
Ziegel, Elastizitätssz. I 520
 —, spez. Gewicht . . . I 686
 —dach . . . III 418, 422

- Ziegeldecke** . . . III 411
 —mauerwerk . . . III 321
 —mauerwerk, zulässige Spannung . . . I 526*
 —stein . . . I 707
 —stein, Festigkeitssz. I 519*
Zink I 632, 636, 684, 690
 — (Amtl. Gewicht) III 60
 —blech I 690*
 —blech, zuläss. Spanng. I 525
 —dach III 419, 422
 —einschneidemasch. II 381
 —, Festigkeitssz. I 517*, 521*
 —platte, Gewicht I 641*
 —wellblech I 691*
Zinn . . . I 632, 636, 698
 — (Amtl. Gewicht) III 60
 —, Festigkeitsszahlen I 517
 —rohr I 981*
 Zinseeszinsrechnung I 54
Zirkulation-pumpe II 737
 — von Flüssigkeiten I 354
 Zissoide I 114
 Zobelsche Treibkette I 843*
 Zodel-Voith-Kupplung . . . I 860, 861*
 Zoelly-Turbine . . . II 239
Zoll, englischer . . . I 1043*
 —, preussischer . . . I 1046*
Zugeordnete Durch-
messer I 100
 —r Punkt I 96
Zugbeanspruchung, zuläs-
sige I 523*, 524*; III 62*
 —, exzentrischer . . . I 598*
 —festigkeit . . . I 504, 507*
 —festigkeit gerader Stäbe . . I 527
 —geschwindigkeit i. Krüm-
 mungen III 796*
 —heizung, Eisenb.- III 934
 —kraft, Lokomotiv- III 904, 967
 —, künstl. (Schiffsk.) II 793
 —lasten f. verschied. Steig.
 u. Fahrbahnen III 650*
 —messer II 322
 —mittel f. Hebemasch. II 410
 —mittel, Kraft- u. Arbeits-
 verhältnisse . . . I 261
 —mittel, Wirkungsgrad I 264
 —organe, Festigkeit I 521*
 —regler II 46
 —, Schornstein- II 53, 55
 —seil II 577, 579, 586
 — (Seilbahn) . . . III 975
 —spannung I 502
 —stange, -haken (Eisenbahn)
 III 874
 —tier, Kraft u. Leistg. II 2*,
 III 650*, 651*
 — u. Biegung I 592
 — u. Drehung I 605
 — u. Schub I 604
 —widerstand (Eisenbahn)
 III 763, 967
Zulage (Hochbau) III 358
Zulässiger Auflagerdruck
 s. a. Flachendruck I 846;
 II 774*
 — Baugrundbelastg. I 527;
 III 64, 230
 — Belastung v. Kugeln I 881
 — Biegungsbeanspr. für
 Zahnradzähne I 801*
 — Eisenbahnzugstärke . . .
 III 770, 771*
 — Fahrgeschwindigkeit
 (Eisenbahn) . . . III 778
 — Knickspannung I 534, 536
 —r, Raddruck (Eisenbahn)
 III 778
 —r Spannungsverlust
 (elektr.) II 986
 —s Drehmoment I 588, 589*
 — Spannung I 506
 — Spannung für d. Hochbau
 I 524*; III 62*
 — Spannung für d. Ma-
 schinenbau I 522, 523*
 — Spannung f. Riemen I 817*
 — Zug- u. Druckspannung
 eines Stabes . . . I 530
Zulässige Beanspru-
chungen s. a. Amtliche
 Vorschriften
 — der Tragorgane von Auf-
 zügen II 428, 429
 — f. Brücken III 76, 81
 — für Eisenbeton III 274,
 277, 282*
 — en für Luftschleusen . . .
 III 254
 — v. Baustoffen . . . III 62
 — von Brückennietungen . .
 III 76
Zündgeschwindigk. I 492*
 —vorrichtung (Verbren-
 nungsmotor) II 249, 809
Zunge, Weichen- . . . III 815
Zuppinger-Wasserrad II 296
Zusammengesetzte Festig-
keit I 592
 —ziehungskraft (Wärme) . .
 I 392
Zusatzbeschleunig. I 152
 —kraft I 214
 —maschine II 962
 —spannung II 961
Zustandsänderung
 (Wärme), Hauptsätze
 I 412, 413
 — vollkommener Gase I 423
 — von Dämpfen . . . I 439
 — von Stoffen durch die
 Wärme I 397*
Zustandsgleichungen von
 Gasen I 416
Zvonitzek-Steuerung II 173
Zwangskräfte I 210
 —schiene III 818
Zweieck, Kugel- . . . I 139
Zweigelenkbinder III 388
 —leiteranlage II 955
 —phasenstrom II 877
 —radkran II 501
 —taktmotor II 247
 —, Bauarten II 274
Zweigelenkbogen
 III 141, 167
 —, Einfluss der Temperatur
 III 168, 169 176
 —, Einflusslinien f. d. Fach-
 werkbogen III 171
 —, Elastizitätsgleichung für
 d. vollwandigen Bogen
 III 173
 —, Fachwerkbogen m. Zug-
 band III 168
 —, Kämpferdrucklinie . . .
 III 175
 —, Kernpunktmom. III 174
 —, Konstr. III 1017
 — mit unveränderl. Höhe
 III 169
 —, Fachwerk m. vollwandi-
 gem Mittelstück III 167
 — mit wagerechtem oder
 schwach gekrümmtem
 Obergurt III 170
 —, Parabelbogen . . . III 169
 —, Sichelträger III 170
Zwischendampfheizung
 III 458
 —überhitzung II 141
 —zyklische Kurve I 107
Zykloide I 107
 —nverzahnung I 786, 798
 —, Reibung I 260
Zylinder I 138
 —, Automobil- II 811
 —böden, ebene u. gewölbte
 (Festigkeit) I 623
 —bohrmaschine II 363
 —, Dampf- I 955; II 194,
 770; III 906
 —, Druckwasser- . . . II 424
 —, Gleichg. I 124
 —huf I 138
 —huf, Schwerpunkt I 194
 —kessel II 795, 797*
 —kühlung II 286, 814
 —, Hohl-, Festigk. I 624, 625*
 —, Hohl-, Trägheitsmoment
 I 239
 —, Pumpen-, Prefs- I 954
 —, Raum- u. Füllungsver-
 hältnis v. Verbundloko-
 motiven III 916
 —schmierung II 202
 —, Schwerpunkt I 193
 —, Trägheitsmoment I 239
 —, Treib- für Hebemasch.
 II 892
 —, Verbrennungsmotor,
 I 955; II 277
 —verhältnis d. Schiffsmas-
 chine II 761, 762*, 764*

Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W66

Wilhelmstraße 90.

Eiserne Brücken. Ein Lehr- u. Nachschlage-
buch für Studierende und
Konstrukteure. Von G. Schaper, Regierungsbaumeister.
Zweite vollständig neubearbeitete Auflage.
Mit 1455 Textabbildungen.
1911. Preis geheftet 20,— Mk., gebunden 21,50 Mk.

Statische Untersuchung von Bogen- und
Wölb-Tragwerken
in Stein, Eisen, Beton oder Eisenbeton nach den
Grundsätzen der Elastizitätstheorie unter An-
wendung des Verfahrens mit konstanten Bogen-
größen. Von Dr. R. Schönhöfer, Professor a. d. Techn. Hoch-
schule Braunschweig. Zweite erweiterte Auflage.
1911. Geheftet Preis 2,60 Mk.

Haupt-, Neben- und Hilfsgerüste
im Brückenbau. Ein Lehr- und Nachschlagebuch über die
auf dem Gebiete des Brückenbaues vorkommenden Gerüste.
Von Dr. R. Schönhöfer, Professor a. d. Techn. Hochschule
Braunschweig.
Mit 190 Textabbildungen.
1911. Geheftet Preis 6 Mk., gebunden 6,80 Mk.

Seehafenbau. Von F. W. Otto Schulze, Professor des
Wasserbaues an der Technischen Hoch-
schule in Danzig.
Band I: Allgemeine Anordnung der Seehäfen.
Mit 248 Textabbildungen.
1910. Geheftet Preis 16 Mk., gebunden 17 Mk.
Band II: Ausbau und Ausstattung der Seehäfen
Mit vielen Abbildungen. Erscheint Anfang 1912.

Der Talsperrenbau nebst Beschreibung aus-
geführter Talsperren.
Von P. Ziegler, Kgl. Baurat. Zweite neubearbeitete Auflage.
Mit 314 Textabbildungen.
1910. Geheftet Preis 20 Mk., gebunden 21,50 Mk.

Handbuch für Eisenbetonbau.

Herausgegeben von Dr. Ing. F. von Emperger
k. k. Oberbaurat.

Ein vollständiges Exemplar setzt sich z. Z. wie folgt
aus 1. und 2. Auflage zusammen.

==== Erste Auflage. ====

- I. Band: } Siehe unter zweite Auflage Bd. I u. II.
II. Band: }
III. Band: } Siehe unter zweite Auflage Bd. III. IV. V. VI. VII.
1. 2. 3. Teil: }
IV. Band: 1. Teil. 1. Liefg.: Sicherheit gegen Feuer, Blitz u. Rost.
Innerer Ausbau. Treppen. Kragbauten im Hochbau. geh. 15,— Mk.
2. Liefg.: Kragbauten im Ingenieurbau. Dachbauten. Kuppel-
gewölbe. geh. 16,— Mk.
Beide Lieferungen in einem Band geh. 35,— Mk.
2. Teil. 1. Liefg.: Silos. Hohe Schornsteine. Fabriken und
Lagerhäuser. geh. 17,— Mk.
2. Liefg.: Landwirtschaftliche Bauten. Kirchen, Saalbauten,
Theater, Geschäftshäuser. geh. 13,— Mk.
Beide Lieferungen in einem Band geh. 34,— Mk.
3. Teil. Bestimmungen. Bauunfälle geh. 11 Mk., geb. 14 Mk.

==== Zweite Auflage. ====

- I. Band: Entwicklungsgeschichte. Theorie des Eisenbetons.
Zweite Auflage in Vorbereitung. Erscheint Sommer 1912.
II. Band: Baustoffe. Betonmischmaschinen. Transportvorrichtungen.
Vorrichten und Verlegen des Eisens. Betonierungsregeln.
Schalung im Hochbau. Schalung bei Balkenbrücken. Schalung
bei Bogen. geh. 14,— Mk., geb. 16,50 Mk.
III. Band: Grundbau. Mauerwerksbau. geh. 20 Mk., geb. 22,50 Mk.
IV. Band: Uferbefestigungen. Schleusen. Leuchttürme und Leucht-
baken, Hellinge, Schiffsgefäße. Wehre. Staudämme und Tal-
sperrren. geh. 14,— Mk., geb. 16,50 Mk.
V. Band: Flüssigkeitsbehälter. Röhren. Kanäle. Aquadukte und
Kanalbrücken. geh. 18,— Mk., geb. 20,50 Mk.
VI. Band: Balkenbrücken. Bogenbrücken. Die Anwendungen des Eisen-
betons im Eisenbrückenbau. geh. etwa 23,— Mk., geb. etwa 26,— Mk.
==== Erscheint im Herbst 1911. ====
VII. Band: Eisenbetonbalkenbrücken. Eisenbahnschwellen. Leitungen.
Sonstige Anwendungen des Eisenbetons im Eisenbahnwesen
wie: Bahnsteighallen, Lokomotivschuppen, Wasserstationen,
Wärterhäuschen, Verladebühnen. Tunnelbau. Stadt- u. Unter-
grundbahnen. Bergbau. geh. etwa 18 Mk., geb. etwa 20,50 Mk.
==== Erscheint im Herbst 1911. ====

Zur ersten und zweiten Auflage erschien März 1911:

Erster Ergänzungsband: Die künstlerische Gestaltung der Eisen-
betonbauten. geh. 9,— Mk., geb. 11,— Mk.

Verlag von **Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W66**

Empfohlen durch Runderlaß

des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten.

Vierteljährlich 5 Hefte

Preis 4 Mark.

BETON u. EISEN

Internationales Organ für Betonbau

herausgegeben

von Dr. Ing. **F. von Emperger**, k. k. Oberbaurat, Wien.

Jährlich 20 Hefte

Preis 16 Mark.

„Beton u. Eisen“ veröffentlicht:

Artikelserien über alle das Fach bewegende theoretische und praktische Fragen.

Ausführliche Beschreibungen aller größeren Bauten des Hoch- und Tiefbaues unter Angabe aller Einzelheiten der Berechnungen und Ausführung.

Original-Aufsätze über wissenschaftliche Fragen aus der Feder maßgebender Fachleute.

Berichte über Ausstellungen, Auszüge aus allen dieses Fach berührenden Veröffentlichungen, Vorträgen, Versuchen, Bauunfällen ...

Wirtschaftliche Aufsätze über Materialpreise, Zementmarkt, Eisenmarkt, Submissionen, Neue Beton- und Eisenbetonunternehmungen, Jahresergebnisse.

Zeitschriftenauszüge und Bücherbesprechungen aus der Literatur des In- und Auslandes, unter Wiedergabe der zum Verständnis nötigen Abbildungen.

Patentberichte über erteilte Patente.

Korrespondenzen im Anschluß an die Veröffentlichungen der Zeitschrift und zur Diskussion wichtiger Fragen.

Briefkasten mit Auskunfterteilungen über dringende Fragen aus dem Kreise der Leser.

Wir bitten Probehefte vom Verlage zu verlangen.

*Empfohlen durch Erlaß der Königlich Württembergischen
Ministerial-Abteilung für Straßen- und Wasserbau.*

Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.