AEG

HILFSBUCH

FÜR ELEKTRISCHE LICHT- UND KRAFTANLAGEN

4. AUFLAGE

BUCHVERLAG W. GIRARDET · ESSEN

VORWORT

Das vorliegende Hilfsbuch soll durch seine zahlreichen Winke und Erfahrungswerte den Fachmann bei dem Entwurf, der Ausführung und dem Betrieb elektrischer Licht- und Kraftanlagen unterstützen und die sachgemäße Anwendung aller elektrotechnischen Erzeugnisse fördern. Dem Nichtfachkundigen bietet der einleitende Abschnitt Gelegenheit, sich rasch über die Bedeutung der am häufigsten in der Elektrotechnik vorkommenden Bezeichnungen zu unterrichten.

Diese vierte Ausgabe ist dem jetzigen Stand der Technik und der Entwicklung der VDE -Vorschriften angepaßt. Eine Reihe von Abschnitten, z. B. diejenigen über Generatorschutz und Motoren, wurden erheblich ausgebaut, andere, z. B. über Notstromanlagen und elektrische Uhren, wurden neu eingeführt.

Die Gleichrichter werden ihrer heutigen Bedeutung entsprechend ausführlich behandelt, besonders die Gittersteuerung und die Anwendung auf motorische Betriebe.

Neu eingeführt wurde ferner ein Abschnitt „Schaltanlagen", der die in den früheren Ausgaben an verschiedenen Stellen behandelten Teilgebiete zusammenfaßt.

Im Abschnitt „Leitungen" wurde die Verwendung von Aluminium, insbesondere für Freileitungen, in den Vordergrund gestellt. Auch neue Verlegungsarten isolierter Leitungen in Gebäuden werden behandelt.

Wesentlich ausgebaut ist auch der Abschnitt „Elektrowärme"; Industrieöfen und Elektroschweißung sind darin aufgenommen, auch die neuzeitliche elektrische Haushalt- und Großküche sowie die Raumbeheizung; Heißwasserversorgung und Entlüftung werden eingehend behandelt.

Der Anhang enthält eine Zusammenstellung der neuen Schaltzeichen.

Die Angaben des Hilfsbuches sind ohne Verbindlichkeit; soweit sie Eigenschaften von Fabrikaten darstellen, bleibt ihre Änderung vorbehalten. Von den Bildern werden gern Diapositive kostenlos leihweise zu Vortrags- und Unterrichtszwecken abgegeben.

INHALT

Elektrotechnische Bezeichnungen 1

Stromerzeugungsanlagen

I. Allgemeines 24
Lage des Kraftwerkes 24
Wahl der Maschinengrößen 24
Wahl der Stromart 24

II. Antriebsmaschinen und Stromerzeuger
Wahl der Kraftmaschine 25
Bestimmung der Leistung 26
Wahl der Drehzahl 27
Antriebsarten 29
Bestimmung der Schwungmassen 33

III. Gleichstromanlagen ohne Akkumulatorenbatterie
Schaltungen 35
Parallelschalten von Gleichstromgeneratoren 36

IV. Gleichstromanlagen mit Akkumulatorenbatterie
Akkumulatoren 39
Akkumulatorenräume 42
Aufstellung von Akkumulatorenbatterien 42
Zellenschalterleitungen 44
Schaltungen 45
Parallelschalten von Generatoren mit Akkumulatorenbatterien 50

V. Drehstromanlagen
Schaltungen 50
Parallelschalten von Drehstromgeneratoren 52
Lastverteilung bei Drehstromgeneratoren 54

VI. Selbsttätige Spannungsregler 55

VII. Schutz von Drehstromgeneratoren 56

VIII. Notstromanlagen 61

Umspanner (Transformatoren)
I. Aufbau- und Wirkungsweise 66
II. Schaltungen 68
III. Ausführungsformen 68
IV. Einrichtungen zum Regeln der Spannung 70
V. Parallelbetrieb von Umspannern 71
VI. Umspanneröle 74
VII. Behandlung von Umspannern 75
VIII. Erwärmung und Überlastbarkeit von Umspannern 77

Gleichrichter
Allgemeines 80
Trockenplattengleichrichter 82
Lichtbogengleichrichter 83
Gleichrichter für motorische Antriebe 97
Übersicht über die verschiedenen Gleichrichterarten 100

Umformer
Motorgeneratoren 102
Einankerumformer 110

Schaltanlagen

Einleitung ... 120

Schalt-, Meßgeräte und Aufbauteile

Hebelschalter, Sicherungen ... 120
Überstrom-Selbstschalter ... 124
Betätigungs- und Signalgeräte ... 128
Schalttafelmeßgeräte, Geräte für die Parallelschaltung ... 130
Meßwandler, Schaltung von Meßgeräten, Sinnbilder für Meßgeräte, Zähler.. 133
Isolatoren und Leitungsträger, blanke Leitungen in Schaltanlagen ... 146
Kabelverlegung, Meß-, Steuer- und Signalleitungen, Reihen- und Prüfklemmen für Meß- und Steuerleitungen ... 158
Leistungsschalter für Hochspannung ... 166
Hartgasschalter ... 167
Druckgasschalter ... 170
Ölschalter ... 174
Schutzrelais für Leistungsschalter ... 184
Trennschalter, Sicherungen für Hochspannung, Überspannungsableiter für Hochspannungsanlagen ... 191
Schutzerdungen in Schaltanlagen ... 194

Planung und Aufbau der Schaltanlage

Allgemeines ... 198
Übersichtsschaltplan, Eigenbedarf des Kraftwerkes, Auswahl der Geräte 199
Wirkschaltplan, Anschlußplan, Stromlaufschaltplan ... 202
Trennschalterverriegelungen ... 205
Innenraumschaltanlagen für Hochspannung ... 208
Die Stromversorgung von Sicherheitseinrichtungen in Schaltanlagen ... 215
Richtlinien für den baulichen Teil von Schaltanlagen ... 218
Schalt- und Umspannstationen ... 219
Hochspannungs-Schaltwagen ... 227
Schaltschränke für Hochspannung ... 228
Fahrbare Umspanner ... 231

Schalttafeln und Schaltwarten

Schalttafeln für Niederspannung ... 232
Die Schaltwarten ... 237
Blind-, Leucht- und Bausteinschaltbild, Bandschaltbild ... 242

Verteilungen für Industrie, Gewerbe, Stadtnetze und Lichtanlagen

Industriesteuerungen ... 246
Schalteinrichtungen für elektrische Öfen ... 249
Kabelverteilungsschränke ... 252
Gekapselte Schalt- und Verteilungsanlagen für Niederspannung, Verteilungskästen mit Guß- und Isoliergehäusen ... 254
Offene Verteilungstafeln ... 258

Kurzschlußsicherheit in Industrieanlagen

A. Kurzschlußgefahren und Wege zu ihrer Vermeidung durch Vorausberechnung ... 264
B. Mittel zur Begrenzung der Kurzschlußleistung ... 266
C. Berechnung der Kurzschlußströme ... 273

Leitungsnetze und Leitungen

I. Bemessung der Leitungen

Allgemeines ... 284
Leitungsnetze ... 284
Ortsnetze ... 285
Bemessung des Leitungsquerschnittes auf mechanische Festigkeit ... 286

Bemessung der Leitungen auf Erwärmung ... 286
Bemessung auf Spannungsabfall und Leistungsverlust ... 290

II. Verlegung von Freileitungen
Leitungsdrähte ... 299
Stützpunkte ... 299
Auslegen, Aufbringen und Spannen der Drähte ... 307
Befestigen der Drähte, Herstellung der Verbindungen ... 311
Mastenschalter, Überspannungsschutz, Erdungen ... 314

III. Behandlung der Anschlüsse bei Aluminiumleitern ... 317

IV. Verlegung von Bleikabeln
Allgemeines ... 324
Verlegung im Freien ... 326
Abladen und Auslegen des Kabels ... 328
Verlegung von Kabeln in Gebäuden ... 332
Kabelendverschlüsse ... 333
Verbindungsmuffen ... 339
Fehlerortsbestimmung an Starkstromkabeln ... 342

V. Verlegung der Leitungen in Rohr
Verlegung von Isolierrohr auf dem Putz ... 346
Verlegung von Isolierrohr unter dem Putz ... 351
Verlegung von Gummirohr ohne Metallmantel unter Putz ... 354
Einziehen der Drähte ... 355
Abzweigkästen ... 356
Verlegung von Stahlpanzerrohr ... 356

VI. Verlegung von Leitungen im Putz (Impu-Leitung) ... 363

VII. Verlegung von Rohrdraht
Rohrdraht ohne Umhüllung ... 365
Rohrdraht mit Umhüllung ... 369

VIII. Offene Verlegung von Leitungen ... 375

IX. Leitungen für beweglichen Anschluß ... 378

Schalt- und Anschlußgeräte

Schalter, Steckdosen, Sicherungen ... 382
Selbstschalter ... 397
Gekapselte Niederspannungsschaltgeräte für explosionsgefährdete Räume ... 413
Schutzmaßnahmen in Verbraucheranlagen ... 415
AEG-Elektrozaun ... 421

Meßgeräte und Messungen

A. Allgemeines ... 426
B. Anzeigende Schalttafel-Meßgeräte ... 427
I. Strommessungen ... 427
II. Spannungsmessungen ... 429
III. Leistungsmessungen ... 430
IV. Messung des Leistungsfaktors ... 432
V. Frequenzmessung ... 438
VI. Widerstands- und Isolationsmessungen ... 439
VII. Genauigkeit von Meßgeräten ... 442
C. Schreibende Schalttafelmeßgeräte ... 442
D. Meßwandler ... 443
E. Tragbare Betriebsmeßgeräte ... 443
F. Meßgeräte für besondere Zwecke ... 449
G. Elektrizitätszähler ... 452
H. Elektrische Uhren ... 463

Motoren

I. Allgemeines ... 468
II. Drehstrommotoren ... 481
III. Zweiphasenwechselstrommotoren ... 490
IV. Gleichstrommotoren ... 491
V. Einphasenwechselstrommotoren ... 495
VI. Kleinstmotoren ... 497
VII. Elektrowerkzeuge ... 502
VIII. Anlaß- und Steuergeräte ... 506
IX. Elektrische Einrichtungen zur Verbesserung des Leistungsfaktors ... 510
X. Klemmenbezeichnungen und innere Schaltung ... 517
XI. Anleitung zur Inbetriebsetzung von Elektromotoren ... 524
XII. Anleitung zur Beseitigung von Störungen an Elektromotoren 526
XIII. Riemen ... 531
XIV. Riementriebe ... 533
XV. Seiltriebe ... 539
XVI. Beförderung von Elektromotoren ... 540
XVII. Maschinengründungen ... 545
XVIII. Aufstellung der Motoren ... 550

Lichttechnik

Allgemeines ... 556
Elektrische Lichtquellen ... 557
Leuchten ... 563
Beleuchtungstechnik ... 570
Berechnung der Beleuchtungsstärke f. d. Planung von Beleuchtungsanlagen 575
Leuchtröhrenanlagen ... 586
Beleuchtungskalender ... 590
Betriebskosten für elektrische Lampen ... 591
Lampenschaltungen ... 592

Elektrowärme

Allgemeines ... 596
Elektrische Industrieöfen
Lichtbogenöfen ... 596
Induktionsöfen ... 597
Widerstandsöfen ... 598
Das elektrische Schweißen
Die Lichtbogenschweißung ... 600
Die Widerstandsschweißung ... 605
Elektrowärmegeräte in Haushalt und Gewerbe
Die elektrische Haushaltküche ... 608
Elektrische Heißwasserversorgung ... 614
Wasserbeschaffung ... 618
Elektrische Raumbeheizung ... 619
Entlüftung ... 622
Die elektrische Großküche ... 623

Anhang

I. Tafeln für das Verhältnis von Stromstärke zur Leistung ... 628
II. Schaltzeichen und Leitungspläne für Starkstromanlagen ... 631
III. Beispiel eines Installations- und Leitungsplanes ... 645
Sachwort-Verzeichnis ... 647

Elektrotechnische Bezeichnungen.

Die Stärke eines elektrischen Stromes **(Stromstärke)** hängt von der Höhe der **Spannung**, unter welcher er entsteht, und von dem **Widerstand** ab, welchen der den Strom leitende Körper seinem Durchgang entgegensetzt. Das Maß für die Spannung ist das **Volt** (V), dasjenige für den Widerstand das **Ohm** (Ω), während die Einheit für die Stromstärke das **Ampere** (A) ist. 1 Ampere ist die Stärke desjenigen Stromes, welcher durch einen Leiter von 1 Ohm Widerstand fließt, wenn zwischen seinen beiden Enden die Spannung 1 Volt herrscht.

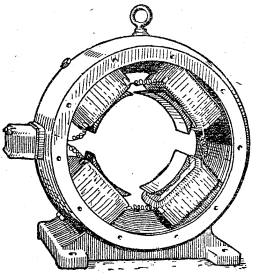


Bild 1. Magnetgehäuse.

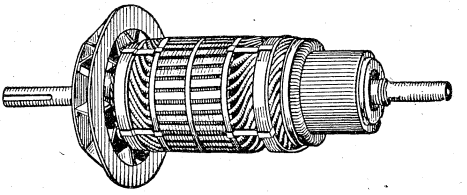


Bild 2. Gleichstromanker mit Kollektor.

Dynamomaschinen oder **Generatoren** sind Maschinen, welche elektrischen Strom durch Induktion erzeugen. Jede Maschine besteht aus den **Feldmagneten** und dem **Anker.** Erstere sind ruhende Elektromagnete (Bild 1), zwischen denen der Anker sich dreht. In ihm wird der Strom erzeugt. Um einen nur in einer Richtung fließenden Strom **(Gleichstrom)** zu erzielen, erhält der Anker (Bild 2) einen **Kommutator** oder **Kollektor** (Bild 3). Dieser besteht aus zahlreichen, zu einem Zylinder aneinander gefügten, gegeneinander isolierten Kupferstreifen, **Segmenten**, die einzeln mit den vielen Drahtschleifen des Ankers, **Ankerspulen** (Bild 4), verbunden sind. Auf dem Kollektor gleiten Metall- oder Kohlestücke, die **Bürsten** (Bild 5). Sie werden von **Bürstenhaltern** (Bild 6)

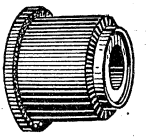


Bild 3. Kommutator.

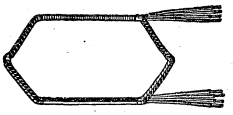


Bild 4. Anker-Schablonenspule.

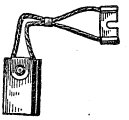
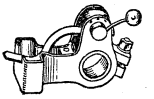


Bild 5. Bürste



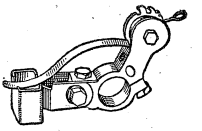


Bild 6. Bürstenhalter.

getragen, welche die Bürsten federnd andrücken und bei größeren Stromstärken zu mehreren auf einem **Bürstenbolzen** aufgereiht sind. Alle Bürstenbolzen eines Generators werden von einem drehbaren Körper **(Bürstenbrille, Bürstenhalterstern, Bürstenjoch)** getragen (Bild 7). Von den Bürstenbolzen wird dann der Strom zum Netzanschlußbrett **(Klemmbrett)** geführt.

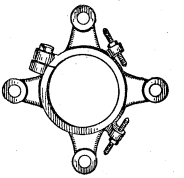


Bild 7. Bürstenbrille.

Die Drahtumwicklung **(Feldmagnetspule)** (Bild 8) der **Feldmagnete** wird stets mit Gleichstrom gespeist **(erregt).** Bei Gleichstromgeneratoren entnimmt man den Erregerstrom dem im eigenen Anker erzeugten Strom, dem Hauptstrom. Je nach dem Anteil des Stromes, der durch die Magnetwicklung fließt, unterscheidet man:

1. **Nebenschlußgeneratoren,** bei welchen die Magnetwicklung zum Hauptstrom im Nebenschluß liegt (Bild 9), bei welchen also nur ein Teil des Hauptstroms die Feldspulen durchfließt. Diese Generatoren finden die häufigste Anwendung. Ihre

Spannung wird von der Stärke des entnommenen Stromes nur wenig beeinflußt. Bei zunehmendem Strom fällt die Spannung etwas ab.

2. **Reihenschlußgeneratoren,** bei welchen der ganze von dem Generator abgenommene Strom durch die Magnetwicklung fließt (Bild 10). Sie werden nur in Sonderfällen verwendet, ihre Spannung steigt und fällt mit der Stromstärke **(Belastung).**

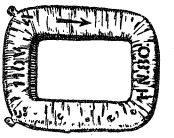


Bild 8. Feldmagnetspule oder Feldspule.

3. **Doppelschlußgeneratoren** (Kompoundgeneratoren), bei welchen sowohl eine Reihenschluß- als auch eine Nebenschlußwicklung vorhanden ist (Bild 11). Sie werden statt Nebenschlußgeneratoren immer dann verwendet, wenn die Spannung unabhängig von der Belastung gleichbleiben soll. Durch geeignete Anordnung kann man auch erreichen, daß die Spannung mit zunehmender Belastung nicht nur gleichbleibt, sondern zur Deckung von Leitungsverlusten noch etwas übersteigt **(Überkompoundierung).**

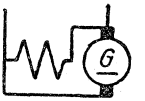


Bild 9. Nebenschlußgenerator.



Bild 10. Reihenschlußgenerator.



Bild 11. Doppelschlußgenerator.

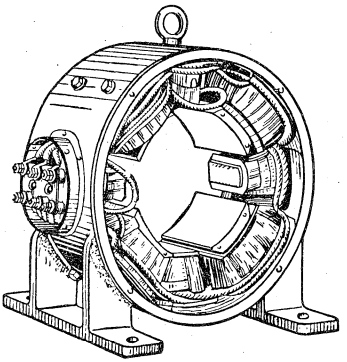


Bild 12. Gleichstrom-Magnetgehäuse mit Hilfspolen.

Außer den Haupt-Feldmagneten erhalten Gleichstrommaschinen meist Hilfsmagnete **(Hilfspole** oder **Wendepole),** welche zwischen den Hauptmagneten sitzen (Bild 12 u. 13), und deren Wicklung vom Hauptstrom durchflossen wird (Bild 14). Sie haben den Zweck, das Gleichrichten des Stromes durch den Kommutator zu erleichtern und die Funkenbildung auf dem Kommutator, das Feuern, auch bei stark schwankender Belastung, zu verhindern.

Unter Fortfall des Kommutators kann man Generatoren so einrichten, daß man dem Anker den ursprünglich in ihm erzeugten Strom als **Wechselstrom** entnimmt. Dieser fließt regelmäßig abwechselnd in der einen und anderen Richtung und nimmt fortgesetzt in seiner Stärke zu und ab. Sein Wesen wird am besten durch eine Welle (Periode) dargestellt, deren erste Hälfte den Stromverlauf in einer Richtung, deren zweite Hälfte denjenigen in der entgegengesetzten Richtung wiedergibt (Bild 15).



Bild 13. Hilfspolspule.

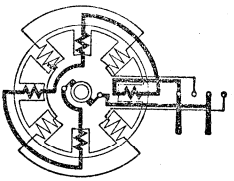


Bild 14. Stromverlauf in den Hilfspolen.

Wechselströme unterscheiden sich untereinander insbesondere durch die Häufigkeit der Wechsel in der Sekunde **(Wechselzahl).** Zwei Wechsel bilden eine **Periode.** Die Anzahl der Perioden in der Sekunde **(Per/s** oder **Hertz)** heißt **Frequenz.** In Deutschland sind 50 Hz = 100 Wechsel üblich.

Außer dem einfachen Wechselstrom, dargestellt durch eine Welle **(einphasigen Wechselstrom),** gibt es mehrphasige, von denen insbesondere der dreiphasige Wechselstrom, der **Drehstrom,** von Bedeutung ist. Er besteht aus drei Wechselströmen, deren Wellen je um ein Drittel einer Periode gegeneinander verschoben sind, wie dies die drei Wellen in Bild 16 veranschaulichen.

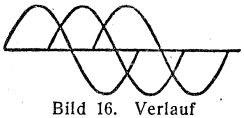


Bild 16. Verlauf eines Drehstromes.

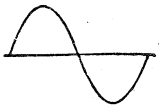


Bild 15. Verlauf eines Wechselstromes.

Wechselstromgeneratoren erhalten statt des Kollektors zur Entnahme des im Anker erzeugten Stromes einfache **Schleifringe** (Bild 17), auf denen die Bürsten gleiten. Sie werden jedoch meistens so gebaut, daß der Anker stillsteht **(Gehäuse)** und die Feldmagnete in diesem umlaufen **(Polrad)** (Bild 18). Der zur Speisung **(Erregung)** der Feldmagnete erforderliche Gleichstrom wird dann durch zwei Schleifringe dem Polrad zugeführt und entweder einer besonderen Gleichstromquelle entnommen **(Fremderregung)** oder von einem mit dem Wechselstromgenerator unmittelbar gekuppelten kleinen Gleichstromgenerator **(Erregermaschine)** (Bild 19) geliefert **(Eigenerregung).** Für Leistungen bis etwa 200 kVA werden auch Drehstromgeneratoren hergestellt, die wie Gleichstromgeneratoren außenliegende, feststehende Feldmagnete besitzen, während sich auf dem Läufer außer der Ankerwicklung mit vier Schleifringen noch eine zur **Selbsterregung** dienende Gleichstromwicklung und der zugehörige Kollektor befinden.

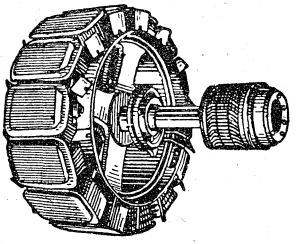


Bild 18. Polrad eines Drehstromgenerators mit dem Anker der Erregermaschine.

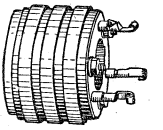


Bild 17. Schleifringe.

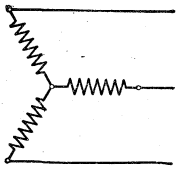


Bild 20. Sternschaltung.

Die Ankerwicklung von Drehstromgeneratoren enthält drei Gruppen von Spulen. Die sechs Enden dieser drei Wicklungen sind jedoch so zusammengefaßt, daß sie nur zu drei Klemmen führen. Die Schaltung der drei Wicklungen erfolgt entweder so, daß je ein Ende jeder Wicklung in einem Punkt **(Sternpunkt)** zusammengelegt wird **(Sternschaltung)** (Bild 20), oder so, daß die Wicklungen ein Dreieck bilden **(Dreieckschaltung** (Bild 21). Von dem Mittelpunkt des Sternes (Bild 20), dem Nullpunkt, kann ebenfalls eine Leitung ausgehen. Die zwischen dieser **neutralen** oder **Nulleitung** und den Hauptleitungen des Drehstromsystems herrschende Spannung heißt **Phasenspannung,** diejenige zwischen zwei Hauptleitungen verkettete Spannung oder **Hauptspannung.** Die Hauptspannung ist gleich der Phasenspannung mal 1,73 (Bild 22).

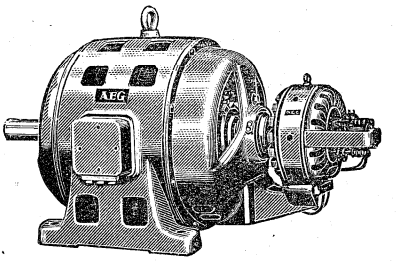


Bild 19. Drehstromgenerator mit Erregermaschine.

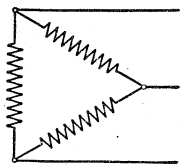


Bild 21. Dreieckschaltung.

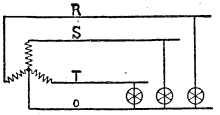


Bild 22. Drehstromsystem mit Nulleitung.

Elektrische Leistung, z. B. die Leistung eines Generators, wird ausgedrückt in **Watt** (W). Bei Gleichstrom ist die Leistung gleich dem Produkt aus Spannung und Strom (Watt = Volt × Ampere). **1 Kilowatt** (kW) ist gleich 1000 Watt. Elektrische Arbeit ergibt sich aus dem Produkt der Leistung und der Zeit, in der die Leistung wirkt, und wird gemessen in **Wattstunden** (Wh) bzw. **Kilowattstunden** (kWh).

Während bei Gleichstrom stets Watt gleich Volt mal Ampere sind, gilt für **Drehstrom: Watt gleich 1,73 mal Volt mal Ampere** (einer Leitung) **mal cos** φ. Hierin ist die Zahl **1,73 der Phasenfaktor** und **cos** φ der mathematische Ausdruck für den **Leistungsfaktor.** Er stellt das Verhältnis der wirklichen Leistung in Watt zur scheinbaren Leistung

in **Voltampere** (gleich Volt mal Ampere mal 1,73) dar. Er kann nie größer als 1 sein und beträgt z. B. bei vollbelasteten Motoren 0,8—0,9.

Da sich bei Generatoren die Spannung in gewissen Grenzen mit der Belastung ändert, ist, um die gewünschte Gleichmäßigkeit der Spannung zu erzielen, eine Regelung derselben notwendig. Die Spannung ist von der Stärke des magnetischen Feldes abhängig; die Regelung erfolgt daher durch Veränderung der Stromstärke in der Wicklung der Feldmagnete. Die hierzu verwendeten **Nebenschlußregler** (Bild 23) sind Widerstände, in denen ein Teil der für die Erregung bestimmten elektrischen Energie vernichtet werden kann. Die Regelung erfolgt durch ein Handrad, welches beliebige Werte des Widerstandes einzuschalten gestattet.

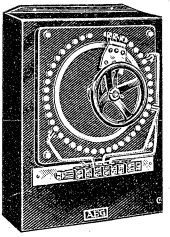


Bild 23.
Nebenschlußregler.

Während bei Gleichstromgeneratoren nur dieser Nebenschlußregler in Frage kommt, kann man dagegen bei Drehstromgeneratoren mit direkt gekuppelten Erregermaschinen einmal einen Nebenschlußregler in die Magnetwicklung der Erregermaschine schalten und außerdem einen ähnlichen in die Erregerwicklung des Drehstromgenerators selbst, das ist also der Hauptstromkreis der Erregermaschine. Diesen Regler bezeichnet man zum Unterschied als **Magnetregler** des Drehstromgenerators.

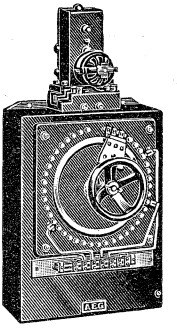


Bild 24.
Selbsttätiger Nebenschlußregler.

Bei Betrieben, welche infolge häufiger Belastungsänderung einer dauernden Regelung der Spannung bedürfen, werden zweckmäßig **selbsttätige Nebenschluß- und Magnetregler (Selbstregler)** (Bild 24) verwendet. Die Antriebswelle wird hier durch einen kleinen Elektromotor gedreht, dessen Ein- und Ausschaltung in der einen oder anderen Richtung mittels Elektromagneten in unmittelbarer Abhängigkeit von den Spannungsschwankungen bewirkt wird.

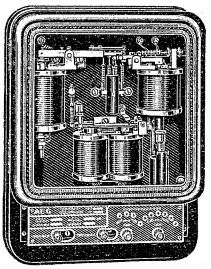


Bild 25.
Spannungs-Schnellregler System Tirrill.

Um Spannungsschwankungen auch bei starken stoßweisen Belastungsänderungen zu verhindern, verwendet man **Tirrillregler** (Bild 25), welche bei Drehstromgeneratoren auf die Spannung der Erregermaschine einwirken. In gleicher Weise kann auch bei Gleichstromgeneratoren die Spannung gleichgehalten werden, wenn der Generator eine besondere Erregermaschine erhält.

Im Gegensatz zum Wechsel- und Drehstrom läßt sich Gleichstrom in **Akkumulatoren** (Sammlern) aufspeichern, so daß man nach beliebiger Zeit den aufgespeicherten Strom wieder entnehmen kann. Zahlreiche **Akkumulatorenelemente** (Zellen) (Bild 26) werden zur Erzielung der notwendigen Spannung hintereinander geschaltet und bilden dann eine **Batterie.** Von der Größe und Anzahl der Platten in einem Element hängt die Strommenge ab, welche der Akkumulator aufnehmen und wieder abgeben kann. Diese Strommenge, ausgedrückt in **Amperestunden** (gleich Ampere mal Stunden), stellt die **Kapazität** (Abgabefähigkeit) des Sammlers dar.

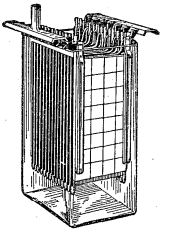


Bild 26.
Akkumulatorenelement (Zelle).

Ein Generator, welcher für 110 oder 220 Volt gebaut ist, kann die zugehörige Akkumulatorenbatterie gleicher Abgabespannung nicht ohne weiteres laden, da hierzu eine bis etwa 45% höhere Spannung erforderlich ist. Daher sind für Ladezwecke Generatoren für Spannungssteigerung zu verwenden oder es ist ein zweiter Generator **(Zusatzmaschine)** aufzustellen, der durch Hintereinanderschaltung mit dem Hauptgenerator

die Steigerung der Gesamtspannung bis zu der gewünschten Höhe hervorbringt. Da Zusatzmaschinen nur stundenweise gebraucht werden, so erfolgt ihr Antrieb in der Regel durch einen besonderen Elektromotor. Diese beiden miteinander gekuppelten Maschinen stellen dann ein **Zusatzaggregat** dar.

Bei Beginn der **Entladung** ist die Spannung noch etwa 15% zu hoch. Um auf die Spannung von 110 bzw. 220 V zu kommen, wird die Abschaltung einer Anzahl von Zellen erforderlich. Die Anzahl dieser Elemente muß mit fortschreitender Entladung jeweils so vermehrt werden, daß dauernd die normale Betriebsspannung abgegeben wird. Zur Abschaltung dieser Zellen dienen **Zellenschalter** (Bild 27), und zwar unterscheidet man **Einfach-** und **Doppelzellenschalter**. Erstere gestatten nur nacheinander Ladung und Entladung; letztere lassen jedoch auch während der Ladung eine gewisse Stromentnahme zu. Bei größeren Stromstärken ist an Stelle der runden Form (Bild 27) die gestreckte Form (Langzellenschalter) üblich.

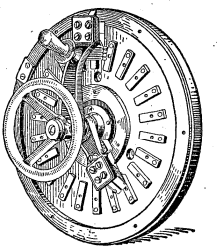


Bild 27.
Doppelzellenschalter.

Bei Zellenschaltern ist ähnlich wie bei Nebenschlußreglern ein häufiges Nachstellen erforderlich. Man hat daher **selbsttätige Zellenschalter** gebaut, bei welchen ein Motor in Abhängigkeit von der Batteriespannung den Entladeschlitten des Zellenschalters bewegt, die Ladung dagegen geschieht immer nur von Hand oder bei fernbetätigten Zellenschaltern durch Druck-

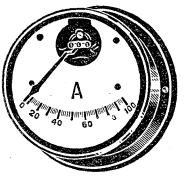


Bild 28.
Strommesser.

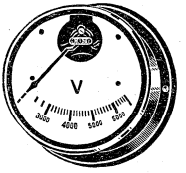


Bild 29.
Spannungsmesser.

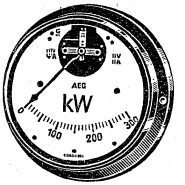


Bild 30.
Leistungsmesser.

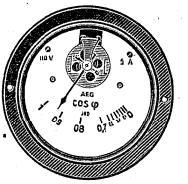


Bild 31.
Leistungsfaktormesser.

knopfsteuerung. Fernsteuerung des Zellenschalters ist dann empfehlenswert, wenn der Zellenschalter zur Vermeidung von langen Zellenschalterleitungen in unmittelbarer Nähe der Batterie eingebaut wird.

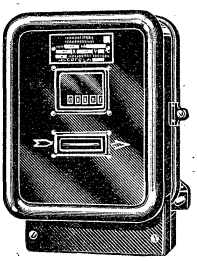


Bild 32.
Drehstromzähler.

Zur Messung von Stromstärke und Spannung verwendet man Meßinstrumente, deren Zeiger auf einer Teilung die Anzahl der Ampere **(Strommesser, Amperemeter)** (Bild 28) oder die Anzahl der Volt **(Spannungsmesser, Voltmeter)** (Bild 29) abzulesen gestatten. Zur Messung der Leistung in Watt, insbesondere bei Wechsel- und Drehstrom, benutzt man **Leistungsmesser (Wattmeter)** (Bild 30), deren Ablesung in gleicher Weise erfolgt. Der bei diesen Stromarten zu beachtende Leistungsfaktor wird durch **Leistungsfaktormesser (Phasenmesser)** (Bild 31) ermittelt.

Zur Messung elektrischer Arbeit in Wattstunden (Kilowattstunden) werden **Zähler** (Elektrizitätszähler) (Bild 32) verwendet, welche durch ein Zählwerk jeweils die bis zum Zeitpunkt der Ablesung durchgeleitete Energie angeben.

Schaltgeräte dienen dazu, Teile eines elektrischen Netzes oder Stromverbraucher mit der Stromquelle zu verbinden oder strom- und spannungslos zu machen. Der **Hebelschalter** (Bild 33 und 34) oder **Schalter** stellt eine von Hand betätigte Unterbrechungsstelle in dem Weg des Stromes dar. **Hebelumschalter** (Bild 35) sind gleichsam Stromweichen, bei denen sich der Weg

des Stromes verzweigt und je nach der Stellung des Umschalters den einen oder anderen Zweig verfolgt. **Serienschalter** sind eine besondere Art **Dosenschalter (Drehschalter, Kippschalter)** (Bild 36 und 37), welche das Einschalten von Lampengruppen nacheinander ermöglichen. Eine weitere gebräuchliche Art von Dosenschaltern sind die **Wechselschalter,** die ein wechselweises Ein- und Ausschalten von Lampen von zwei Stellen aus gestatten. Durch **Kreuzschalter** läßt sich die Zahl der Schaltstellen beliebig erhöhen. **Steckvorrichtungen** sind Stellen, in denen der festverlegte Teil einer Leitung mit einem beweglichen Teil verbunden wird. Es gibt zwei- und dreipolige Steckvorrichtungen, jede bestehend aus der **Steckdose** (Bild 38), dem festen, und dem **Stecker** (Bild 39), dem beweglichen Teil. In feuchten, durchtränkten und ähnlichen Räumen verwendet man in neuerer Zeit **Steckvorrichtungen mit Schutzkontakt** (Bild 40). Diese besitzen unabhängig von den stromführenden Kontakten einen weiteren Kontakt, an den die der Berührung zugänglichen metallenen Teile des Stromverbrauchers durch eine besondere **Schutzleitung** angeschlossen werden. Für rauhe Betriebe sowie für größere Stromstärken (Industrie, Landwirtschaft) werden Kragensteckvorrichtungen mit Gußummantelung verwendet (Bild 41).

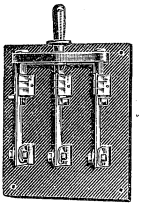


Bild 33. Hebelschalter.

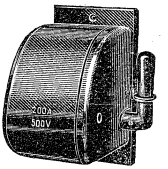


Bild 34. Hebelschalter mit schlitzlosem Schutzkasten.

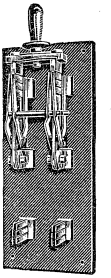


Bild 35. Hebelumschalter.



Bild 36. Drehschalter.



Bild 37. Kippschalter Ausschalter.



Serienschalter.

Da alle Stromquellen nur einen gewissen Höchstwert der Stromstärke abgeben und Leitungen nur begrenzt belastet werden dürfen, wenn nicht unzulässige Erwärmungen oder Beschädigungen auftreten sollen, so muß dafür gesorgt werden, daß der Strom selbsttätig unterbrochen wird, wenn dieser zulässige Höchstwert überschritten wird. Die hierzu verwendeten **Sicherungen** (siehe diese) sind im wesentlichen kurze Drähte von geringem Querschnitt, in der Regel aus Silberlegierung. Diese dünnen Drähte werden so bemessen, daß sie sich bei Steigerung der Stromstärke über das zulässige Maß hinaus schnell erwärmen und abschmelzen, so daß dann der Strom unterbrochen ist. Eine derartige Steigerung der Stromstärke kann insbesondere dadurch entstehen, daß zwei Leitungen verschiedener Polarität unmittelbar miteinander in Berührung kommen **(Kurzschluß);** in diesem Falle ist nämlich der Widerstand zwischen beiden Polaritäten äußerst gering, die Stromstärke kann demnach außerordentlich große Werte annehmen, deren schädliche Folgen durch

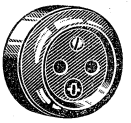


Bild 38. Steckdose.

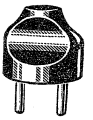


Bild 39. Stecker.



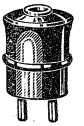
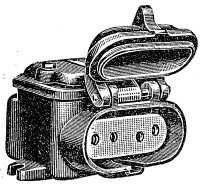


Bild 40. Steckvorrichtung mit Schutzkontakt.



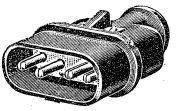


Bild 41. Kragensteckvorrichtung mit Stecker.

das Abschmelzen der Sicherungen verhindert werden. Sicherungen werden entweder in offener Ausführung **(Streifensicherung)** oder geschlossen als **Patronensicherung** hergestellt.

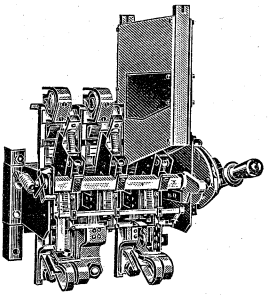


Bild 42. Dreipoliger Überstromschalter mit Wärmeauslösern (2 Funkenkammern abgenommen).

Schmelzsicherungen der gewöhnlichen Ausführung gewähren keinen einwandfreien Schutz für Stromverbraucher und gestatten auch keine volle Ausnutzung der Leitungsquerschnitte, da sie keine ausreichende Anpassung an die Erwärmungskurve von Verbraucher und Leitung gestatten. Eine Verbesserung wird durch Verwendung von verzögerten **(Tardo-)** Sicherungen erreicht.

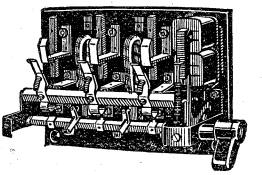


Bild 43. Motorschutzschalter (Schutzkappe abgenommen).

Am vollkommensten läßt sich diese Bedingung durch Verwendung selbsttätiger **Überstromausschalter** (Bild 42) erfüllen, bei denen Schalter und Schutzeinrichtung in einem Gerät vereinigt sind. Sie haben magnetische Schnellauslöser, die im Kurzschlußfalle unverzögert ansprechen und den Schalter auslösen. Ferner können sie, was besonders für Motorschutzschalter (Bild 43) in Betracht kommt, noch mit Wärmeauslösern ausgerüstet werden, die auf der Wärmewirkung des elektrischen Stromes beruhen. Durch die Anpassung der thermischen Auslösecharakteristik an die Temperaturgefahrenkurve des Motors werden unzulässige Überlastungen und Erwärmungen verhindert. Gegen kurzzeitige, für den Motor unschädliche Überlastungen (z. B. Stromstöße beim Einschalten) sind derartige Schalter unempfindlich. Erst bei einer länger andauernden, schädlichen Überlastung wird nach einer bestimmten Zeit abgeschaltet. Außer den in Luft schaltenden Überstromausschaltern werden Motorschutz-Ölschalter ausgeführt (Bild 44), bei denen der Schaltvorgang unter Öl erfolgt. Überstrom-Unterspannungssausschalter haben ferner einen Unterspannungsauslöser, der eine Abschaltung des Verbrauchers bei Ausfall oder starker Absenkung der Spannung veranlaßt. Zum Schutze gegen gefährliche Berührungsspannung können die Schalter mit Fehlerspannungsauslöser ausgerüstet werden.

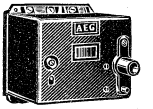


Bild 45. Installationsselbstschalter.

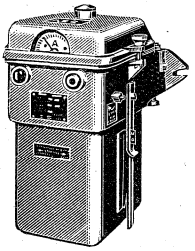


Bild 44. Motorschutzölschalter.

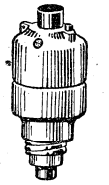


Bild 46. Elfa-Automat.

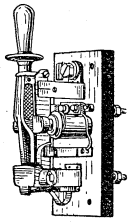


Bild 47. Rückstromausschalter.

Während die Überstromausschalter zur selbsttätigen Unterbrechung mittlerer und großer Ströme dienen, werden für kleinere Stromstärken **Installations-Selbstschalter** (Bild 45) oder **Elfa-Automaten** (Bild 46) verwendet. Letztere werden sowohl in Sockelform als auch zum Einschrauben in Sicherungselemente geliefert.

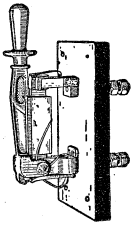


Bild 48. Unterstromausschalter.



Bild 49. Druckknopfschalter.

Ebenfalls mit Auslösemagneten arbeiten **Rückstromausschalter** (Rückstromautomaten) (Bild 47), welche in Gleichstromanlagen mit mehreren Stromquellen (insbesondere bei Anlagen mit Akkumulatoren) zur Verwendung kommen. Arbeitet z. B. ein Gleichstromgenerator parallel mit einer Akkumulatorenbatterie, so könnte, wenn die Spannung des



Bild 50. Betätigungsschalter.

Generators etwa infolge Versagens der Antriebsmaschine sinkt, der Strom rückwärts, also aus den Akkumulatoren in den Generator fließen. In diesem Falle würde der Rückstromausschalter sofort den Strom unterbrechen. Zum gleichen Zweck werden vielfach selbsttätige **Unterstromausschalter** (Minimalautomaten) (Bild48) verwendet, welche bereits ausschalten, bevor es zu einem Rückstrom kommt, wenn also der Strom einen sehr geringen Wert (etwa 5% des Schalternennstromes) angenommen hat.

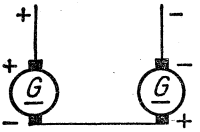
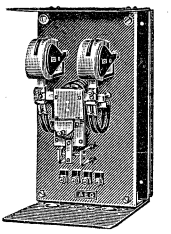


Bild 52. Hintereinanderschaltung.

Die Überstromausschalter lassen sich so einrichten, daß nicht nur die Ausschaltung, sondern auch die Einschaltung magnetisch erfolgt. Die Überstrom-Fernschalter werden durch Druckknöpfe (Bild 49) betätigt, die durch wenige dünne Zuleitungen mit dem Elektromagneten der Schalter verbunden werden. Dadurch, daß man in den Druckknöpfen den geringen Strom für die Elektromagnete in dem einen oder anderen Sinne einschaltet, erfolgt dann die Ein- oder Ausschaltung des Fernschalters. Statt der Druckknöpfe kann man auch **Betätigungsschalter** (Bild 50) verwenden. Eine besondere Form von magnetischen Schaltern sind die **Schütze** (Bild 51) und **unverklinkten Fernschalter** ohne eingebaute Überstromauslöser, welche nicht von Hand, sondern nur durch den an anderen Stellen geschlossenen oder geöffneten Magnetstromkreis betätigt werden können. Sie sind für besonders hohe Schalthäufigkeit ausgelegt, jedoch infolge Fehlens der Überstromauslöser nicht als Motorschutzschalter anzusprechen. Sie werden in der Hauptsache bei der Schaltung von Motoren durch Schaltwalzenanlasser, bei Druckknopfsteuerungen für Aufzüge, Werkzeugmaschinen und dergl. verwendet. Durch Vorschalten von getrennten **Bimetallauslösern**, die thermischen sowie Kurzschlußschutz enthalten, läßt sich jedes Schütz zusätzlich für Motorschutz einrichten. Ebenso läßt sich eine Unterspannungsauslösung vorsehen.


Bild 51. Schütz (Schutzkappe abgenommen).

Zu den häufigsten Schaltungen, welche mit Hilfe von Schaltgeräten ermöglicht werden, gehören **Hintereinanderschaltung** und **Parallelschaltung.** Beide finden ganz allgemein für alle elektrischen Apparate und Leitungen Anwendung; der Einfachheit wegen sei ihr Wesen hier an Gleichstromgeneratoren erklärt. Die **Hintereinanderschaltung** besteht darin, daß ein Pol einer Maschine mit dem entgegengesetzten Pol einer zweiten Maschine verbunden wird, der zweite Pol dieser Maschine wieder mit dem entgegengesetzten einer dritten verbunden wird usw. In dieser Schaltung (Bild 52) addieren sich die Spannungen der Maschinen, so daß die Gesamtspannung gleich der Summe der Einzelspannungen ist. Derart hintereinandergeschaltete Maschinen durchläuft natürlich im ganzen Stromkreis die gleiche Stromstärke. Diese Schaltung findet bei Generatoren verhältnismäßig selten Anwendung, in der Regel nur bei Zusatzmaschinen. Sie ist dagegen stets bei Akkumulatorenelementen anzutreffen. Die **Parallelschaltung** findet sich fast in jeder Stromerzeugungsanlage, da man häufig aus Sicherheitsgründen die gesamte Leistung auf zwei oder mehr Generatoren oder einen Generator mit Batterie verteilt. Die Parallelschaltung besteht darin, daß alle gleichnamigen Pole mehrerer Stromquellen miteinander verbunden werden (Bild 53). Hierbei addieren sich die Stromstärken, so daß die gesamte Stromstärke gleich der Summe der Einzelstromstärken ist. Die Spannung von parallelgeschal-

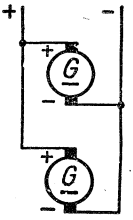


Bild 53. Parallelschaltung.

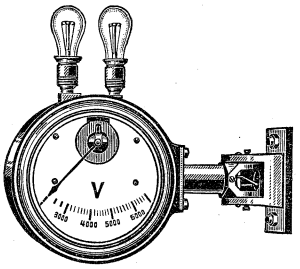


Bild 54. Phasenvoltmeter mit Phasenlampen.

teten Stromquellen muß dagegen gleich sein. Um zwei Gleichstromgeneratoren (oder einen Generator und eine Batterie) parallel zu schalten, ist nichts weiter nötig, als vor dem Zusammenschalten durch Verstellung der Nebenschlußregler (bei einer Batterie des Zellenschalters) beide Stromquellen auf gleiche Spannung zu bringen. Bei Drehstrom dagegen ist die Parallelschaltung nicht so einfach. Die beiden Maschinen müssen außer gleicher Spannung und gleichem Drehsinn des Feldes genau gleiche Frequenz zeigen und müssen im Augenblick des Zusammenschaltens auch **Phasengleichheit** aufweisen, d. h. die Wellen der Spannungen beider Maschinen müssen gleichzeitig ihren gleichnamigen Höchstwert und ihren Nullwert erreichen. Von diesen drei für die Parallelschaltung erforderlichen Bedingungen wird die Spannungsgleichheit ebenfalls durch den Magnet- und Nebenschlußregler hergestellt. Die Frequenz ist allein abhängig von der Drehzahl der Generatoren und kann daher nur durch eine Veränderung der Geschwindigkeit der Antriebsmaschine eingestellt und an einem **Frequenzmesser** abgelesen werden. Zur Feststellung der Phasengleichheit benutzt man **Phasenvergleicher (Phasenlampen, Phasenvoltmeter)** (Bild 54). Diese ermöglichen eine Beobachtung der Differenz der beiden in ihren Phasen zu vergleichenden Spannungen. In ähnlicher Weise dienen Phasenvoltmeter zur gleichen Beobachtung, indem ihr Zeiger bei Phasenungleichheit hin und her pendelt, bei Phasengleichheit dagegen zur Ruhe kommt. In diesem Augenblick laufen beide Maschinen **synchron.** Als ein weiteres Instrument für die Parallelschaltung bei Drehstrom kommt das **Synchronoskop** (Bild 55) in Betracht, das sowohl den Frequenzmesser als auch den Phasenvergleicher ersetzt. Je nachdem ob die Drehzahl der zuzuschaltenden Maschine niedriger oder höher sein muß, pendelt ein Zeiger nach links oder rechts hin und her, dessen Schatten von einer Lampe auf eine Mattscheibe geworfen wird und hier beobachtet werden kann. Die Lampe selbst dient zur Beobachtung der Differenz beider Spannungen. Sie leuchtet bei Synchronismus dauernd hell, während der Zeiger dann in der Mittelstellung zur Ruhe gekommen ist. Zur Veränderung der Geschwindigkeit und damit zur Einstellung der Frequenz und der Phasengleichheit von Drehstromgeneratoren muß jede Antriebsmaschine eine **Drehzahlverstellvorrichtung** besitzen. Diese besteht aus einem kleinen Elektromotor, der auf den Regler der Antriebsmaschine wirkt und durch einen Umschalter von der Schalttafel aus zeitweise im Rechts- oder Linkslauf eingeschaltet werden kann.

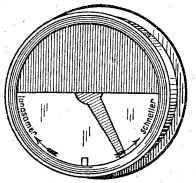


Bild 55.
Synchronoskop.

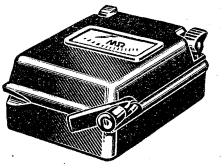


Bild 56. Taschen-Isolationsmesser mit Kurbelinduktor.

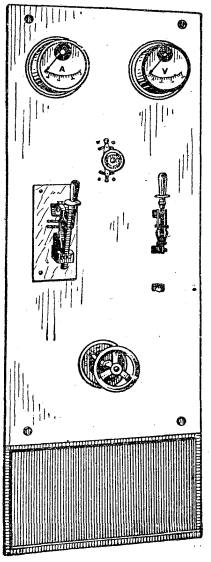


Bild 57.
Freistehende Schalttafel.

Damit der elektrische Strom nicht von dem stromführenden Leiter auf die Umgebung, z. B. auf andere Leiter, übertritt, muß dieser elektrisch **isoliert** sein. Zu diesem Zweck werden die Leitungen mit isolierenden Stoffen umgeben oder von isolierenden Körpern getragen. Um festzustellen, ob die **Isolation** eines Leiters in Ordnung ist, muß man den Widerstand messen, welchen die isolierenden Körper der unbeabsichtigten Ableitung des Stromes entgegensetzen **(Isolationswiderstand).** Man unterscheidet den Isolationswiderstand zwischen den Leitern verschiedener Polarität und den Isolationswiderstand aller Leiter gegen die Erde (oder mit dieser in leitender Berührung stehender Körper). Wenn der Isolationswiderstand der Leitungen ge-

geneinander sehr klein wird, so entsteht **Kurzschluß**; wenn der Isolationswiderstand gegen die Erde sehr gering wird, so spricht man von **Erdschluß.** Zur Messung von Isolationswiderständen benutzt man **Isolationsmesser** und **Erdschlußprüfer** (Bild 56), welche in der Regel darauf beruhen, daß die Spannung der Leiter gegen ihre Umgebung oder gegen Erde gemessen wird.

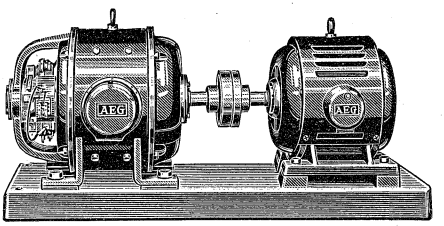


Bild 58. Motorgenerator.

Alle für eine elektrische Stromerzeugungsanlage notwendigen Meßgeräte, Schalt- und Sicherungsgeräte, Regler, Zellenschalter, Phasenvergleicher, Isolationsmesser usw. werden in der Regel auf **Schalttafeln** oder **Schaltpulten** (Bild 57) vereinigt. Sie bestehen meist aus Marmor- oder Blechtafeln, welche die Geräte und ihre Verbindungen tragen. In Betriebsräumen, wo die Geräte der Einwirkung von Staub und Feuchtigkeit ausgesetzt sind, verwendet man mit Vorteil **gußgekapselte Schaltanlagen.**

Um Wechselstrom oder Drehstrom in Gleichstrom umzuwandeln (oder umgekehrt) muß man einen Elektromotor mit der vorhandenen Stromart speisen und von ihm einen Generator für den zu erzeugenden Strom antreiben lassen. Die beiden Maschinen werden meist unmittelbar gekuppelt. Derartige **Umformer** zur Umwandlung einer Stromart in eine andere heißen **Motorgeneratoren** (Bild 58). Während bei Motorgeneratoren zwei vollkommen getrennte Maschinen zur Verwendung kommen, wobei jede ihre eigenen Feldmagnete besitzt, kann man die Anordnung auch so treffen, daß nur ein System von Feldmagneten benutzt wird und der in diesem laufende Anker für beide Stromarten dient **(Einankerumformer)** (Bild 59). Die Spannungen, unter denen der Strom einem Einankerumformer zugeführt und von ihm abgenommen wird, stehen in einem bestimmten Verhältnis zueinander, und zwar verhalten sich die Spannungen von Gleichstrom zu Drehstrom etwa wie 1 : 0,65 (bis 0,69). Da dieses Verhältnis in der Regel nicht ohne weiteres verwendbar ist, muß auf der Drehstromseite ein Umspanner eingeschaltet werden. Für eine Regelung der Gleichstromspannung innerhalb der Grenzen von + 5% verwendet man eine Drosselspule in Verbindung mit dem Nebenschlußregler des Einankerumformers. Soll die erzeugte Spannung jedoch in weiten Grenzen verändert werden, so ist ein **Drehumspanner (Potentialregler)** (Bild 60) erforderlich, welcher die Drehstromspannung feinstufig zu regeln erlaubt. Eine gleiche Regelung wird mit einem **Regelumspanner** oder auch mit dem Leistungsumspanner erzielt, wenn er auf der Ober- oder Unterspannungsseite Anzapfungen hat. Hierfür ist zum Einstellen der einzelnen Regel-

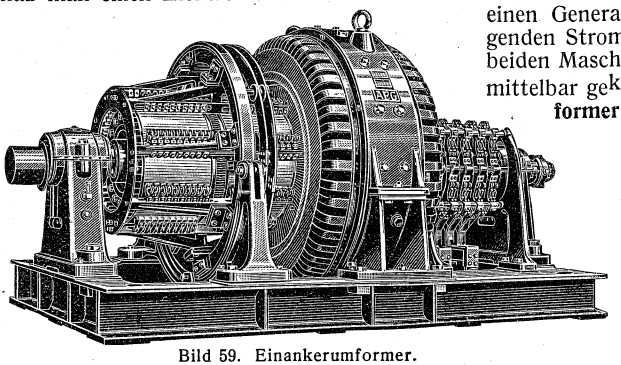


Bild 59. Einankerumformer.

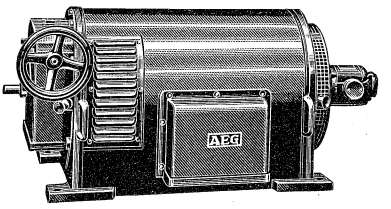


Bild 60. Drehumspanner.

stufen außerdem ein Regelschalter erforderlich. Für den besonderen Zweck der Umwandlung von Wechsel- oder Drehstrom in Gleichstrom werden bevorzugt **Gleichrichter** (Bild 61) verwendet. Man unterscheidet **Trocken-, Glühkathoden-** und **Quecksilberdampfgleichrichter.** Letztere enthalten bei Leistungen bis zu 500 A je Einheit luftleere Glasbehälter, bei größeren Eisenbehälter, in denen zwischen den Stromzuführungen (Elektroden) ein Quecksilberlichtbogen hergestellt wird, der von dem zugeführten Wechselstrom immer nur die in gleicher Richtung fließende halbe Periode durchläßt, die andere Hälfte der Periode aber nicht durchläßt. Sie bedürfen keiner dauernden Bedienung und haben keine beweglichen Teile.

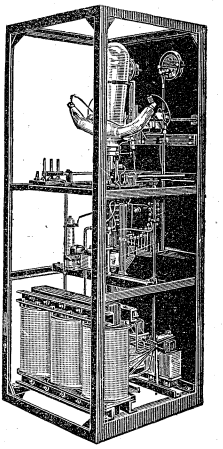


Bild 61. Quecksilberdampfgleichrichter für 60 A.

Zur Umwandlung von Dreh- oder Wechselstrom einer Spannung in eine andere verwendet man Umspanner (Transformatoren), die keine umlaufenden Teile haben. Derartige **Umspanner** (Bild 62) besitzen zwei auf Eisenkerne aufgezogene Sätze von Drahtwicklungen. Durch den einen Spulensatz **(Primärwicklung)** wird der zugeführte Dreh- oder Wechselstrom hindurchgeleitet. Er erzeugt in dem zweiten Wicklungssatz **(Sekundärwicklung),** lediglich durch Induktion, wieder Dreh- oder Wechselstrom; die Spannung ändert sich jedoch im Verhältnis der Windungszahlen von Primär- und Sekundärwicklung. Das Verhältnis der zugeführten zur erzeugten Spannung bei Leerlauf (Primär- und Sekundärspannung) heißt die **Übersetzung** des Umspanners. Man kann die Wicklungen eines Umspanners in ihrem Verlauf mit **Anzapfungen** versehen, so daß man außer der Spannung an den Enden der Wicklungen auch beliebige Teilspannungen abnehmen kann. Für alle größeren Leistungen und höheren Spannungen werden die Umspanner in einen mit Öl gefüllten Kasten gestellt. Für Sonderzwecke, besonders auch für ganz kleine Leistungen und niedrige Spannungen, sieht man von der Ölfüllung des Kastens ab **(Trockenumspanner).**

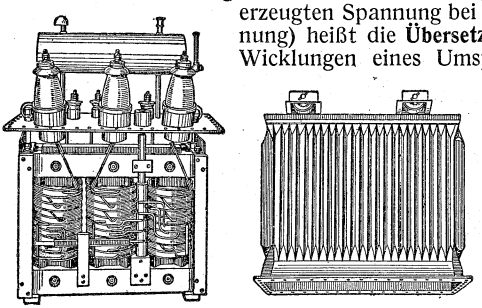


Bild 62. Drehstromtransformator, aus dem Ölkasten herausgenommen.

Die Stärke eines Drahtes zur Fortleitung elektrischen Stromes richtet sich in erster Linie nach der Stromstärke, welche er führen soll. Die Leistung in Watt, welche er überträgt, ist also um so größer, je höher die Spannung des betreffenden Stromes ist. Um daher mit möglichst geringem Leitungsquerschnitt möglichst große Leistungen zu übertragen, muß man die Spannung möglichst hoch wählen. Da dies bei Dreh- und Wechselstrom mit Hilfe von Umspannern sehr viel leichter möglich ist als bei Gleichstrom, so kommen für die Übertragung auf große Ent-

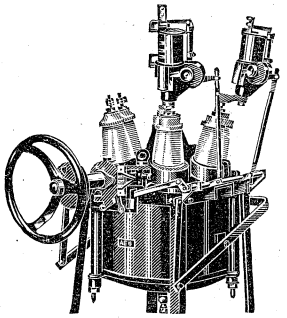


Bild 63. Ölschalter mit zwei Primärauslösern.

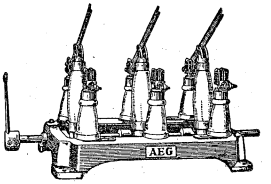


Bild 64. Trennschalter.

fernungen und für große Leistungen ausschließlich diese Stromarten in Betracht. Praktisch werden heute bereits Spannungen bis zu 200 kV verwendet. In Anlagen von mehr als 1000 V Spannung bedarf man zum Schalten des Stromes besonderer Schalter, bei welchen die Stromunterbrechung entweder unter Öl erfolgt **(Ölschalter)** (Bild 63) oder zur Löschung des Öffnungslichtbogens Druckgas verwendet wird **(Druckgasschalter).** Diese können ebenso wie offene Hebelschalter mit Überstromauslösung, Spannungsrückgangsauslösung und Fernbetätigung versehen werden. Da alle hochgespannten Ströme als lebensgefährlich anzusehen sind und man an den verschlossenen Hochspannungsschaltern die Unterbrechung nicht unmittelbar beobachten kann, ordnet man vor jedem Hochspannungsschalter einen **Trennschalter** (Bild 64) an, der zur Vornahme von Arbeiten am ausgeschalteten Gerät (z. B. am Umspanner) geöffnet werden muß und so eine sichtbare Trennstelle bildet. Er ist aber im allgemeinen nicht zur Stromunterbrechung geeignet, sondern darf erst betätigt werden, wenn der Hochspannungsschalter den Strom unterbrochen hat.

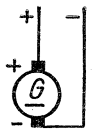


Bild 65. Zweileitersystem.

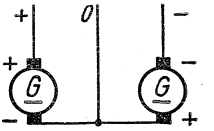


Bild 66. Dreileitersystem.

Bei Gleichstrom gebraucht man im allgemeinen zwei Drähte zur Hin- und Rückleitung des Stromes **(Zweileitersystem)**, von denen die eine an den positiven, die andere an den negativen Pol angeschlossen wird (Bild 65).

Um zwecks Ersparnis an Leitungswerkstoff höhere Spannungen verwenden zu können, ohne aber die Gebrauchsspannung für Lampen und Kleinmotoren erhöhen zu müssen, kann man zwei Zweileitersysteme hintereinander schalten und einen dritten Leiter **(Mittelleiter, Nulleiter)** von der Verbindungsstelle abführen **(Dreileitersystem,** (Bild 66). Der Nulleiter von Dreileitersystemen muß mit der Erde verbunden **(geerdet)** werden. Dreileitersysteme, deren Spannung zwischen den Außenleitern zwar über 250 V liegt, bei welchem jedoch die Spannung zwischen einem Außenleiter und dem geerdeten Nulleiter unterhalb von 250 V liegt, gelten nach den Verbandsvorschriften als Anlagen bis 250 V gegen Erde. Die Speisung von Dreileiteranlagen wurde ursprünglich dadurch vorgenommen, daß man zwei Generatoren hintereinander schaltete und von der Verbindungsleitung zwischen beiden Maschinen den Nulleiter abzweigte. Der **Spannungsteiler** (Bild 67) der AEG ermöglicht jedoch die Verwendung nur eines Generators für die gesamte Spannung (Außenleiterspannung), während der Nulleiter von der Mitte der Wicklung des Spannungsteilers abgezweigt wird. Er ist ein Gerät nach Art der Umspanner. Seine beiden Wicklungsenden stehen über zwei Schleifringe, die sich auf der Welle des Generators befinden, mit der Ankerwicklung in Verbindung (Bild 68).

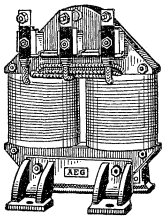


Bild 67. Spannungsteiler.

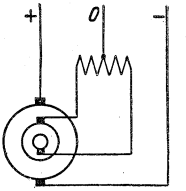


Bild 68. Dreileitergenerator.

Bei Drehstrom benötigt man drei Leitungen, zwischen denen die Hauptspannung herrscht und an welche Drehstrommotoren mit allen drei Leitungen angeschlossen werden. Um eine etwas höhere Spannung und damit schwächere Leitungen verwenden zu können, ohne die Spannung für die Lampen zu erhöhen, ordnet man ebenfalls einen Nulleiter an, welcher an den Sternpunkt (Nullpunkt) des Drehstromgenerators oder Transformators angeschlossen wird. Dieser Nulleiter des **Drehstrom-Vierleitersystems** wird ebenfalls geerdet und alle Lampen mit einem Draht an ihm, mit dem anderen Draht an eine der drei Hauptleitungen (Phasenleitungen, Phasen) angeschlossen. Hat man nur wenige Lampen anzuschließen, so genügt häufig die Zuführung einer oder zweier Phasenleitungen und des Nulleiters. Die Gebrauchsspannung der Motoren ist hier 1,73 mal so groß wie die der Lampen, z. B. 380 V gegenüber 220 V für die Lampen.

Die Fortleitung des elektrischen Stromes erfolgt im allgemeinen durch **Kupfer-** oder **Aluminiumleitungen,** da diese Werkstoffe, abgesehen von den Edelmetallen, dem Stromdurchgang den geringsten Widerstand entgegensetzen, also die größte **Leitfähigkeit** besitzen. Da jedoch auch Kupfer und Aluminium noch einen nennenswerten Widerstand haben, wird bei der Fortleitung stets ein Teil der Leistung vernichtet **(Leistungsverlust).** Die Benennung der Leitungsstärken erfolgt mit Rücksicht auf die vielfach verwendeten Seile und Profildrähte nach der Größe der Kupfer- oder Aluminiumquerschnitte. Die Auswahl der Leitungsquerschnitte hat nach drei Gesichtspunkten zu erfolgen:

1. Mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit des Leitungsdrahtes.
2. Mit Rücksicht auf die Erwärmung des Leitungsdrahtes durch den Strom.
3. Mit Rücksicht auf den Spannungsabfall und Leistungsverlust.

Bei ausgedehnteren Netzen, insbesondere bei Leitungsnetzen in den Städten, würde der übliche Spannungsabfall von einigen Prozent außerordentlich große Querschnitte der Leitungen bedingen. Man ordnet hier daher besondere **Speisepunkte** an, welche durch unverzweigte, unmittelbar vom Kraftwerk ausgehende **Speiseleitungen** ihren Strom erhalten. Diese Speiseleitungen bemißt man dann für einen Spannungsabfall bis zu 10% der Betriebsspannung und sorgt dafür, daß die Spannung an den Enden der Speiseleitungen, den Speisepunkten, also nicht im Kraftwerk, auf gleicher Höhe gehalten wird. Auf diese Weise kann dann an den von Speisepunkten ausgehenden **Verteilungsleitungen** ein weiterer Spannungsabfall von etwa 3% zugelassen werden. Um die Spannung an den Speisepunkten gleichmäßig halten zu können, muß man sie im **Kraftwerk** beobachten. Zu diesem Zweck werden besondere dünne Leitungen **(Meßleitungen** oder **Prüfdrähte)** von allen Speisepunkten nach dem Kraftwerk zurückgeführt.

Nach der Art der Ausführung unterscheiden die Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker folgende **Leitungsarten,** für deren Aufbau im einzelnen bestimmte Vorschriften gelten.

A. Blanke Leitungen.

B. Umhüllte Leitungen.

PLWC Leitung mit Papier- und wetterfester Umhüllung mit Cupferleiter in roter Farbe.
PLWA Leitung mit Papier- und wetterfester Umhüllung mit Aluminiumleiter in roter Farbe.
NLC Nulleiterdrähte in hellgrauer Farbe, mit Cupferleiter.
NLA Nulleiterdrähte in hellgrauer Farbe, mit Aluminiumleiter.
NE Nulleiterdrähte für Verlegung im Erdboden.
NBE Nulleiterdrähte mit Bleimantel, für Verlegung im Erdboden.

C. Isolierte Leitungen (Gummiisolation).

I. Leitungen für feste Verlegung:

Gummiaderleitungen.

NGA Normen Gummiaderleitung.
NGAB Normen Gummiaderleitung, biegsam.
NGAF Normen Gummiaderleitung, feindrähtig (sehr biegsam).
NGAU Normen Gummiaderleitung mit unbrennbarer Asbestumflechtung.
NGAW Normen Gummiaderleitung mit wetterfester, säurebeständiger Imprägnierung.
NSGA Normen Sonder-Gummiaderleitung für höhere Spannungen.

Rohrdrähte.

NRA Normen Rohrdraht-Ader mit gefalztem Metallmantel.
NRAN Normen Rohrdraht-Ader mit Beidraht (Nulleiter).

Kabelähnliche Leitungen.

NRU Normen Rohrdraht, mit korrosionsschützender Umhüllung.
NBU Normen Bleimantelleitung, mit korrosionsschützender Umhüllung.
NBEU Normen Bleimantelleitung, mit Eisenbandbewehrung und mit korrosionsschützender Umhüllung.

Panzeradern.

NPA Normen Panzeradern mit rostgeschützter Metalldrahtbeflechtung.

Bandpanzerleitungen.

BPA Bandpanzeradern mit einem Panzer aus zwei in der Längsrichtung gewölbten Eisenbändern.

II. Leitungen für Beleuchtungskörper:

Fassungsadern.

NFA Normen Fassungsadern.

Pendelschnüre.

NPL Normen Pendellitze, einadrig.
NPLR Normen Pendellitze, zweiadrig, rund, mit gemeinsamer Beflechtung.

III. Leitungen zum Anschluß ortsveränderlicher Stromverbraucher:

Gummiaderschnüre.

NSA Normen Schnur mit Gummiader (Zimmerschnüre), Mehrfachschnüre haben eine gemeinsame Beflechtung.

Gummischlauchleitungen.

NLG Normen besonders leichte Gummischlauchleitung.
NLH Normen Leichte Handapparatleitung.
NMH Normen Mittlere Handapparatleitung.
NSH Normen Schwere Handapparatleitung.

Aufzugsteuerleitungen.

NFL Normen Faserstoff beflochtene Leitung.
NFLG Normen Faserstoff beflochtene Leitungen mit Gummimantel.

Biegsame Theaterleitungen.

NTK Normen biegsame Theaterleitungen (Soffittenleitungen) mit Kordelbeflechtung.
NTSK Normen biegsame Theaterleitungen (Versatzleitungen) mit Segeltuchumhüllung und Kordelbeflechtung.

Leitungstrossen.

NT Normen Leitungstrossen, die betriebsmäßig ein häufiges Auf- und Abwickeln aushalten müssen.

D. Bleikabel.

Gummi-Bleikabel.

NGK Normen Gummi-Bleikabel.
NRGK Normen Gummi-Bleikabel für Reklamebeleuchtung.

Papier-Bleikabel.

NK Normen blankes Kabel.
NKA Desgl. mit Umhüllung.
NKB Normen Kabel mit Bandeisenbewehrung.
NKBA Desgl. mit Umhüllung.
NKF Normen Kabel mit Flachdrahtbewehrung.

NKFA Desgl. mit Umhüllung.
NKR Normen Kabel mit Runddrahtbewehrung.
NKRA Desgl. mit Umhüllung.

Dem Kurzzeichen ist die Leiterzahl, der Leiterquerschnitt, die Leiterform (rund „r", sektor „s") und die Nennspannung in kV hinzuzufügen.

Wenn die Leiter aus Aluminium bestehen, so wird hinter dem „N" ein „A" eingefügt, z. B.: NAKBA 3 × 120 s, 3 kV.

Von den isolierten Leitungen für feste Verlegung werden Rohrdrähte, kabelähnliche Leitungen, Panzeradern und Bandpanzerleitungen offen auf Wänden und anderen Gebäudeteilen verlegt. Gummiader- und Nulleitungen können außerhalb des Handbereiches auch **offen verlegt** werden, aber nur auf **Porzellanrollen** (Bild 69) in kleinen Abständen oder auf **Porzellanisolatoren** (Bild 70) in größeren Abständen, an welche jeder Draht mit Bindedraht oder anderen geeigneten Mitteln angebunden wird. **Porzellanklemmen** entsprechen den Porzellanrollen, ersparen aber die Bindestelle. Meist werden die Leitungen in Rohr verlegt, und zwar in **Gummirohr** nur in der Wand **(unter Putz)** oder in **Isolierrohr (Papierrohr)** sowohl unter Putz als auch auf Putz (auf der Wand). Das Papierrohr besitzt einen **Metallmantel** aus **Messing** oder **verbleitem Eisen** (Falzrohr) und wird aus einzelnen Stücken zusammengesteckt oder es hat einen starken Eisenmantel **(Stahlpanzerrohr)**, welcher Gewinde nach Art der Gasrohre besitzt und mit Muffen zusammengeschraubt wird, so daß das Rohr einen guten Schutz gegen stärkere mechanische Beanspruchung bildet. Man verwendet auch **Stahlrohre,** die keine Papierauskleidung besitzen, sondern innen lediglich einen Lackanstrich besitzen.



Bild 69. Mantelrolle.



Bild 70. Porzellanisolator.

Um die mit längeren Freileitungen in Verbindung stehenden Installationen gegen Beschädigungen durch Überspannungen, wie sie z. B. bei Schaltvorgängen oder atmosphärischen Entladungen (Gewittern) vorkommen, zu schützen, ist es notwendig, den örtlichen Verhältnissen entsprechend **Überspannungsableiter** anzuordnen. Im allgemeinen bestehen diese aus einer Funkenstrecke, die von in geringem Abstand voneinander angeordneten Metallkörpern gebildet wird, und aus einem in Reihe dazu geschalteten Widerstand. Der Ableiter wird einerseits mit der zu schützenden, stromführenden Leitung und andererseits mit der Erde leitend verbunden. Wird z. B. durch die Einwirkung der Luftelektrizität die Spannung im Netz stark erhöht, so wird der kleine Luftzwischenraum überschlagen und die Überspannung über den Widerstand zur Erde abgeleitet.

Für Gleich- und Wechselstromspannungen bis 500 V gegen Erde wird ein **Ionenableiter** verwendet mit einer in einem Gasgemisch luftdicht eingeschlossenen Funkenstrecke und spannungsabhängigem Widerstand.

In Wechsel- und Drehstromnetzen höherer Spannungen wird als Überspannungsschutz ein **Ableiter mit einer Vielfachfunkenstrecke** verwendet, die mit einem spannungsabhängigen Widerstand in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht ist. Bei der Freiluftausführung besteht die äußere Umhüllung aus einem Porzellankörper (Bild 71).

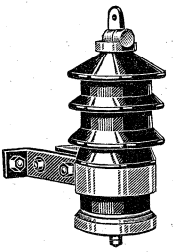


Bild 71. Überspannungsableiter.

Eine besondere Art des Überspannungsschutzes sind die Durchschlagsicherungen (Bild 72), welche auf der Unterspannungsseite von Transformatoren in ihrem Nullpunkt angeschlossen werden, sofern dieser nicht direkt geerdet ist. Bei Übertritt von Hochspannung in die Unterspannungswicklung wird eine Glimmerzwischenlage durchschlagen, wodurch ein starker Erdschluß hergestellt und das Abschmelzen

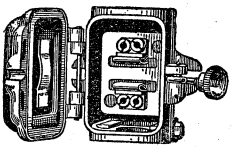


Bild 72. Durchschlagsicherung.

der Transformatorensicherungen auf der Hochspannungsseite bewirkt wird.

Stromerzeuger müssen wie auch alle Leitungen je nach ihrem Querschnitt mit **Sicherungen** versehen werden. Man unterscheidet offene Sicherungen **(Streifensicherungen)** (Bild 73) und geschlossene Sicherungen **(Patronensicherungen)** (Bild 74). Die offenen Sicherungen haben als **Schmelzstreifen** (Bild 75) einen einzelnen oder eine Anzahl parallel geschalteter Schmelzdrähte mit entsprechenden Kontaktstücken.

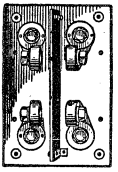


Bild 73. Streifensicherung.

Bei den geschlossenen Sicherungen sind die Schmelzdrähte von einem Porzellankörper umgeben, welcher vollkommen geschlossen ist und ein Füllmaterial enthält, welches beim Abschmelzen die Unterbrechung des Stromlaufes unterstützt **(Stöpsel, Patronen)**. Das Einsetzen einer Patrone in eine Sicherung erfolgt mittels einer Schraubkappe (Bild 76). Sicherungen mit geschlossenen Schmelzeinsätzen werden für Stromstärken bis 200 A hergestellt. Sie müssen den in den Prüfvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker ausführlich festgelegten Bestimmungen genügen. Da dies eine genaue Kenntnis der verschiedenen Einflüsse und der Art der Herstellung bedingt, ist dringend davon abzuraten, Stöpselsicherungen mit neuen Schmelzdrähten zu versehen, wenn diese durchgebrannt sind. Mit den üblichen Schmelzsicherungen wird die in den Vorschriften enthaltene Forderung des Leitungsschutzes gegen gefährliche Erwärmung ohne weiteres erfüllt. Die Sicherungen sind jedoch nicht der Erwärmungskurve der Leitungen angepaßt und gestatten daher keine volle Ausnutzung der Leitungen. Hohe Einschaltströme, wie sie bei Kurzschlußläufermotoren, Metalldrahtlampen usw. auftreten und die den Leitungen nichts schaden, werden nicht durchgelassen, so daß man gezwungen ist, bei unverzögerten Sicherungen stärkere Leitungen zu verwenden. Man verwendet daher für Motoren mit abnormen Anlaufverhältnissen kurzträge Schmelzpatronen, Form KT (Bild 77). Sie haben eine längere Abschaltzeit bei Überstrom als die gewöhnlichen Patronen, während sie bei Kurzschluß ebensoschnell ansprechen. Die beste Anpassung an die Erwärmungskurve der Leitungen ist in der trägen Sicherung (Tardosicherung) erreicht (Bild 78). Sie ist vollkommen kurzschlußsicher. Die Sicherung eignet sich insbesondere für Hausanschlüsse, Hauptverteiler, Motoren usw.

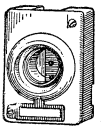


Bild 74. Sicherungselement.



Bild 75. Schmelzstreifen.





Bild 76. Patrone mit Schraubkappe.



Bild 77. Kurzträge Patrone.

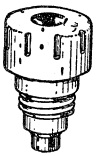


Bild 78. Tardosicherung.



Bild 79. Kontaktschraube.

Geschlossene Schmelzeinsätze sollen unverwechselbar sein, so daß nicht irrtümlich zu starke Sicherungen eingesetzt werden können. Dies wird dadurch erreicht, daß die Füße der Stöpsel verschieden stark sind (Durchmesserunterschiede) und in die Sicherungen **Kontaktschrauben (Kontaktplatten, Paßschrauben, Fußkontakte)** (Bild 79) eingesetzt werden, welche entsprechende Bohrungen haben. So wird also ein stärkerer Stöpsel in die Bohrung einer schwächeren Kontaktschraube nicht hineinpassen. Das früher allgemein gebräuchliche System mit Höhenunterschieden der Stöpsel und Kontaktschrauben ist verlassen worden.

Sicherungen sollen nach den Verbandsvorschriften möglichst zentralisiert werden. Dies geschieht zweckmäßig dadurch, daß sie auf **Verteilungsschalttafeln** vereinigt werden. Von derartigen Verteilungszentralen aus wird der Strom durch Verteilungsleitungen den einzelnen Stromverbrauchern zur Umwandlung in mechanische Arbeit (Elektromotor), Licht (Glühlampen) oder Wärme (Heiz- und Kochapparate) zugeführt.

Elektromotoren für Gleichstrom arbeiten umgekehrt wie Gleichstromgeneratoren, d. h. sie entnehmen dem Netz Strom und geben mechanische Energie ab. Im all-

gemeinen lassen sich dieselben Maschinen für beide Zwecke benutzen. Ebenso wie bei Generatoren unterscheidet man auch bei Gleichstrom-Elektromotoren:

Nebenschlußmotoren (Bild 9), deren Drehzahl mit zunehmender Belastung sehr wenig sinkt; sie kommen daher in den meisten Fällen zur Verwendung.

Reihenschlußmotoren (Bild 10), deren Drehzahl bei Zunahme der Belastung sinkt. Derartige Motoren würden also bei geringer Last sehr schnell laufen; wird die Last gleich Null, so würde die Drehzahl theoretisch unendlich groß werden, d. h. der Anker würde durch die Zentrifugalkraft bei einer sehr hohen Geschwindigkeit auseinanderfliegen. Um dieses „Durchgehen" von Reihenschlußmotoren zu verhindern, muß entweder das Verschwinden der Belastung verhindert werden oder es müssen Vorkehrungen getroffen werden, welche bei allzuhoher Geschwindigkeit den Strom selbsttätig unterbrechen. Man verwendet daher Reihenschlußmotoren im wesentlichen dort, wo die Belastung nicht unter einen gewissen kleinsten Wert sinken kann, z. B. bei elektrischen Bahnen und Kranen, bei denen gleichzeitig eine große Anzugskraft notwendig ist, die diese Motoren besitzen.

Doppelschlußmotoren (Bild 11), bei denen die Abhängigkeit der Drehzahl von der Belastung zwischen derjenigen von Nebenschluß- und Reihenschlußmotoren liegt. Die Drehzahl steigt bei sinkender Belastung je nach Größe der gewählten Kompoundierung. Ein Durchgehen ist nicht möglich.

Die Leistung eines Motors wurde früher nur in **Pferdestärken** (PS) gemessen. Seit einiger Zeit ist man dazu übergegangen, für die mechanische Leistung (wie für die elektrische) auch das Kilowatt zugrunde zu legen. 1 PS ist gleich 0,735 kW. Diese vom Motor abgegebene mechanische Leistung ist nicht zu verwechseln mit der aufgenommenen elektrischen Leistung, welche er erst in mechanische umwandelt.

Die aufgenommene Leistung ist um die bei der Umwandlung entstehenden Wärme- und Reibungsverluste größer. Das Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Leistung ist der **Wirkungsgrad** des Motors.

$$\eta \text{ (Wirkungsgrad)} = \frac{\text{abgegebene Leistung in kW}}{\text{aufgenommene Leistung in kW}}$$

Jede elektrische Maschine erhält ein **Leistungsschild** (Bild 80), auf welchem die Leistung, der Stromverbrauch, die Betriebsspannung und die Drehzahl vermerkt sein müssen.

Befindet sich der Anker eines Gleichstrom-Elektromotors in Ruhe, und schickt man durch diesen Anker einen Strom, so würde der Strom infolge des geringen Widerstandes im Anker sehr große Werte annehmen, die erst geringer werden, wenn der Anker in schnellere Bewegung gekommen ist. Um diese hohe Anlaufstromstärke zu verringern, muß vor jeden Gleichstrom-Elektromotor während des Anlaufes ein Widerstand geschaltet werden **(Anlaßwiderstand)** (Bild 81 und 82), welcher mit zunehmender Drehzahl des Ankers allmählich ausgeschaltet wird. Da derartige **Anlasser** nur ganz kurze Zeit vom Strom durchflossen werden, sind sie auch nur so bemessen, daß sie sich während dieser kurzen Zeit nicht zu stark erwärmen. Es ist daher unzulässig, Anlaßwiderstände ohne weiteres für dauernden Stromdurchgang etwa zwecks Drehzahlregelung zu benutzen.

Eine Veränderung der Drehzahl von Nebenschlußmotoren ist so wohl nach unten als auch nach oben möglich. Zur Drehzahlverminderung schaltet man einen für dauernden Stromdurchgang bemessenen Widerstand in den Stromkreis des Ankers, so daß diesem nur eine verminderte Spannung zugeführt wird, welche einen langsameren Lauf zur Folge hat. Diese **Hauptstrom- oder Ankerregelung,** die also nur zur Herabsetzung der Drehzahl benutzt werden kann, ist wenig wirtschaftlich, da die Leistung des Motors entsprechend herabgesetzt wird und wesentliche Energiemengen im Widerstand vernichtet werden müssen. Es sei hierbei darauf hingewiesen, daß derartige Widerstände nur dann die verlangte Drehzahlverminderung herbeiführen, wenn sie vom vollen Ankerstrom durchflossen werden, d. h. wenn der Motor voll belastet ist. Bei geringerer Belastung ist auch die Drehzahlverminderung geringer.

Eine Drehzahlsteigerung erreicht man dadurch, daß man einen Widerstand in den

Stromkreis der Feldmagnete schaltet. Hierdurch wird die den Magneten zugeführte Stromstärke herabgesetzt, also das magnetische Feld geschwächt. Dies hat eine Erhöhung der Drehzahl zur Folge. Da der Strom in den Feldmagneten nur sehr gering ist, tritt hierbei auch nur ein geringer Energieverlust ein, ohne daß die Leistung des Motors heruntergesetzt wird. Diese **Nebenschlußregelung** zur Erhöhung der Drehzahl ist also sehr wirtschaftlich. Besonders geeignet sind hierfür **Motoren mit Hilfs- oder Wendepolen.** da diese selbst bei sehr stark geschwächtem magnetischen Feld noch keine Funkenbildung am Kollektor zeigen.

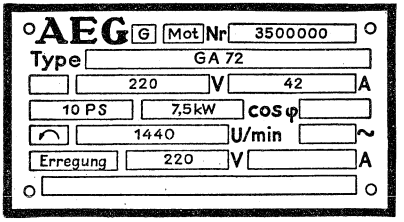


Bild 80.
Leistungsschild eines Gleichstrommotors

Bei **Drehstrom** sind im Gegensatz zu Gleichstrom die gebräuchlichen **Motoren (Asynchronmotoren)** anders geartete Maschinen als die Generatoren. Der Drehstrom wird nicht dem umlaufenden Teil **(Läufer)** (Bild 83), sondern dem feststehenden Teil **(Ständer)** (Bild 84) zugeführt. Der Ständer besitzt drei auf den Umfang gleichmäßig verteilte Wicklungen, welche in einem Eisenring eingebettet sind, der aus dünnen Blechen aufgeschichtet ist. Die Wicklungen können entweder in **Stern- oder in Dreieckschaltung** miteinander verbunden sein (Bild 20 und 21), und zwar ist für denselben Motor, wenn er in Stern statt in Dreieck geschaltet ist, eine Spannung erforderlich, welche das 1,73fache derjenigen bei Dreieckschaltung ist. Hierdurch kann man nach Umschaltung am Motorklemmbrett einen Motor für 380 V Stern auch für 220 V Dreieck, ebenso einen Motor für 220 V Stern auch für 125 V Dreieck verwenden. Solche Motoren tragen daher vielfach die Doppelbezeichnung 380/220 V oder 380 V Y. Das Leistungsschild von Drehstrommotoren muß daher neben den für Gleichstrom erforderlichen Angaben außer der Frequenz des Drehstromes auch noch die Schaltung erkennen lassen (Bild 85).



Bild 81. Kleiner Anlasser mit Drehzahlregelung (hängend).

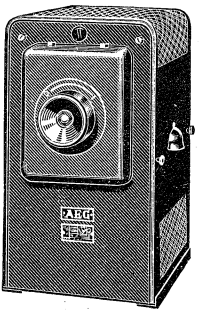


Bild 82. Größerer Anlasser (stehend)

In den Wicklungen des Läufers entstehen lediglich durch Induktion Ströme. Da dem Läufer also gar kein Strom zugeführt zu werden braucht, sind zunächst Bürsten und Schleifringe oder dergl. überflüssig. Den Läufer derartiger Motoren nennt man **Käfigläufer** (Bild 86), und zwar werden Motoren kleinerer und mittlerer Leistung mit **Einfachnutläufer (Kurzschlußläufer, Kz),** die größeren mit Doppelnutläufer ausgerüstet. Die letztere Ausführung wird als **Kd** bezeichnet. Das Einschalten dieser Motoren

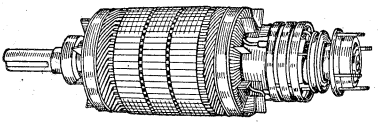


Bild 83.
Schleifringläufer eines Drehstrommotors.

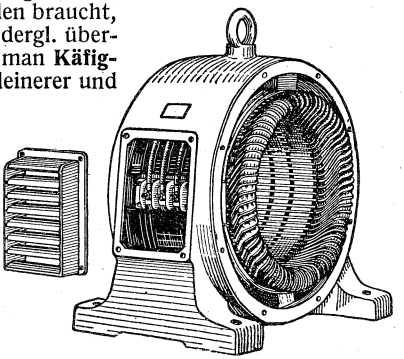


Bild 84.
Ständer eines Drehstrommotors

(Bild 88) kann ganz einfach dadurch geschehen, daß man durch Einlegen eines Hebelschalters dem Ständer Drehstrom zuführt. Hierbei entsteht jedoch ein beträchtlicher Stromstoß, welcher bis zum Drei- und Sechsfachen des Nennstromes beträgt. Da dies mit Rücksicht auf benachbarte Stromverbraucher wegen des auftretenden Spannungsabfalles meist nicht erwünscht ist, wird in den Normalbedingungen für den Anschluß an öffentliche Elektrizitätswerke als höchster Anlaufstrom das 1,6fache des Motornennstromes zugelassen. Um dieser Bedingung zu genügen, kann man das Einschalten des Ständerstromes bei Motoren kleinerer Leistung durch einen **Ständeranlaßwiderstand,** bei größeren Leistungen durch einen Anlaßtransformator allmählich vornehmen.

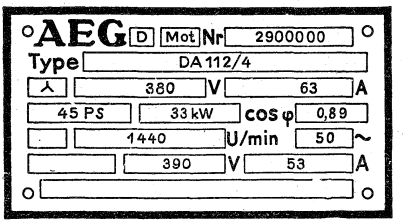


Bild 85. Leistungsschild eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer.

Das Anlassen mittels Ständeranlassers hat jedoch den Nachteil, daß das Anlaufmoment bis auf etwa ein Neuntel des Nennwertes herabgesetzt wird. Diese verhältnismäßig teuren Anlasser verwendet man daher nur noch in seltenen Fällen. Man setzt vielmehr Käfigläufermotoren bis etwa 1,1 kW mittels eines Schalters und Motoren mit größerer Leistung meistens mittels **Sterndreieckschalter** (Bild 87) in Betrieb. Sind die Wicklungen des Ständers nämlich so angeordnet, daß sie bei ihrer Betriebsspannung im Dreieck liegen, so kann man sie vorübergehend als Anlaßschaltung in Stern schalten, was einen langsamen Anlauf und geringen Stromstoß mit sich bringt. Hiernach sind für eine Netzspannung von 220 V Motoren für 380 V Sternschaltung geeignet, mit Sterndreieckschaltern angelassen und bei 220 V in Dreieckschaltung betrieben zu werden.

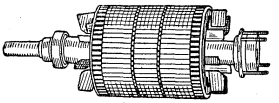


Bild 86. Käfigläufer eines Drehstrommotors.

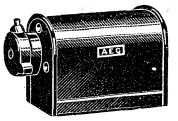


Bild 87. Sterndreieckschalter.

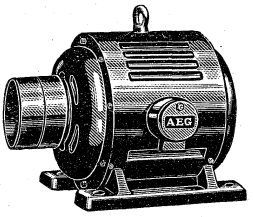


Bild 88. Motor mit Käfigläufer.

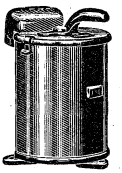


Bild 89. Läuferanlasser mit Ölkühlung.

Bei Einfachkäfigläufermotoren größerer Leistung ist der Anlaßstrom auch bei Sterndreieckschaltung noch unzulässig hoch. Hier werden Käfigläufermotoren in Sonderausführung erforderlich, die die Bezeichnung **Doppelnutmotoren** führen (Bild 88). Sie sind äußerlich von der Normalausführung nicht zu unterscheiden und werden ebenfalls mittels Sterndreieckschalter in Betrieb gesetzt. Infolge einer besonderen Ausbildung der Läufernuten beträgt dann der Anlaufstrom nur etwa das 1,6fache des Nennstromes und entspricht somit den Normalbedingungen für den Anschluß von Motoren an öffentliche Elektrizitätswerke. Die Anzugsmomente der größeren Motoren bei Anlassen mit Sterndreieckschalter reichen erfahrungsmäßig für 95% aller Antriebe aus. Wird ein größeres Anzugsmoment verlangt, so kann man einen Sonderdoppelnutläufer oder einen Motor mit Schleifringläufer verwenden.

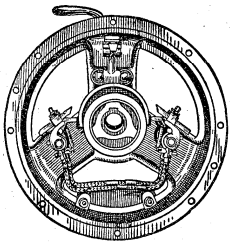


Bild 91. Lagerschild mit Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung.



Bild 90. Schaltwalzenanlasser.

Bei Motoren mit Schleifringläufer verbessert man die Anlaufverhältnisse dadurch, daß man während der Anlaufzeit einen Widerstand in die Wicklungen des Läufers einschaltet. Derartige Läufer erhalten drei Schleifringe, deren Bürsten durch Leitungen mit dem Widerstand verbunden sind **(Schleifringläufer)** (Bild 85). In gleicher Weise wie bei Gleichstrommotoren werden derartige **Läuferanlasser** (Bild 89) nur für vorübergehenden Stromdurchgang gebaut, da sie nach dem Anlauf stromlos werden. In besonderen Fällen, z. B. für schwere, staubige Betriebe, Aufstellung im Freien usw., verwendet man **Schaltwalzenanlasser** (Bild 90), die vollkommen gekapselt sind. Sie besitzen eine Schaltwalze mit Kontaktfingern und Rasten, so daß die einzelnen Kontaktstellungen gut fühlbar sind.

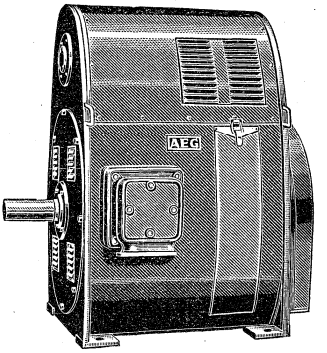


Bild 92.
Drehstrom-Kommutatormotor.

Damit die Bürsten, welche ebenfalls nur während des Anlaufes gebraucht werden, nicht unnützer Abnutzung unterworfen sind, werden Schleifringläufer mit Vorrichtungen versehen, die gleichzeitig die drei Schleifringe untereinander verbinden (Kurzschlußvorrichtung) und die Bürsten abheben. Derartige Schleifringläufer mit **Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung** (Bild 91) heißen **Anlaßschleifringläufer.** Um die Drehzahl von Drehstrommotoren herabzusetzen, kann man die Läuferanlaßwiderstände für dauernden Stromdurchgang bemessen und vor die Wicklungen des Läufers einschalten. Dann müssen jedoch auch die Bürsten dauernd aufliegen und für dauernden Stromdurchgang bemessen sein; eine Abhebevorrichtung ist dann unnötig. Solche Läufer heißen **Regelschleifringläufer.** Die Regelung, welche auf diese Weise erreicht wird, gestattet nur eine Herabsetzung der Drehzahl; eine Erhöhung der Drehzahl von Drehstrommotoren ist nicht möglich.

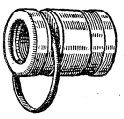
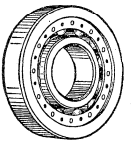
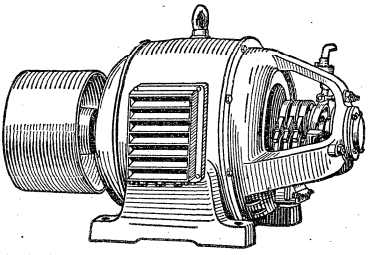

Bild 93. Gleitlager mit Ringschmierung.


Bild 94.
Kugellager.


Bild 95.
Rollenlager.

Um die Drehzahl ohne nennenswerte Verluste stark verändern zu können, baut man für Drehstromanschluß besondere **Drehstrom-Kommutatormotoren** (Bild 92). Diese besitzen einen Ständer nach Art gewöhnlicher Drehstrommotoren, aber einen Läufer, welcher einen Kommutator besitzt, wie er ähnlich bei Gleichstrommaschinen verwendet wird. Die Regelung erfolgt durch besondere Regelschalter oder durch Verstellung der Bürsten.

Die Lager der Generatoren und Motoren waren früher fast ausschließlich **Gleitlager** mit Ringschmierung (Bild 93), bei der die Lagerbuchse auf der oberen Seite ein- oder zweimal so geschlitzt ist, daß ein in den Schlitz eingelegter Ring frei auf der Welle aufliegt. Bei ihrer Drehung wird dann der Ring mitbewegt und dadurch das Öl aus dem Ölraum befördert. Um die Reibungsverluste der Lager zu verringern, hat man in neuerer Zeit die **Wälzlager (Kugel- und Rollenlager)** (Bild 94 und 95) eingeführt, bei denen keine gleitende, sondern nur eine rollende Reibung stattfindet. Weitere Vorteile dieser Lager liegen in der Ersparnis an Schmiermitteln und in der sehr geringen Wartung, da die Fettmenge eines Wälzlagers bei normaler Beanspruchung, d. h. täglich achtstündigem Betrieb und normaler


Bild 96.
Drehstrommotor in offener Ausführung.

Raumtemperatur für etwa ein Jahr ausreicht. — Alle Motoren können neben der **offenen** Ausführung (Bild 96), bei welcher in den Schildlagern große Öffnungen frei bleiben, in verschiedenen Schutzarten ausgeführt werden. Man unterscheidet **tropfwassergeschützte** Motoren mit jalousieartig geschützten Öffnungen oder mit besonders ausgebildeten Schildlagern, welche die Kühlluft durchlassen, grobe Fremdkörper und Tropfwasser dagegen abhalten; **spritzwassergeschützte** Motoren, bei denen das Eindringen von Wassertropfen und Wasserstrahlen schräg bis aus waagerechter Richtung verhindert ist; **geschlossene** Motoren für Rohranschluß, die bis auf die Zuluft- und Abluftstutzen an den Schildlagern angeschlossen sind; geschlossene Motoren mit Außenbelüftung, bei denen Läufer und Wicklung völlig abgeschlossen sind; ein zwischen antriebseitigem Schildlager und einer Schutzhaube mit der Welle umlaufender Lüfter treibt die Kühlluft frei über den Gehäuserücken, der mit Längsrippen versehen ist. **Gekapselte** Motoren, die keine Kühlung besitzen und ebenso wie die geschlossenen Motoren Schutz gegen Schwallwasser und groben Staub bieten.



Bild 97. Innenmattierte D-Lampe.

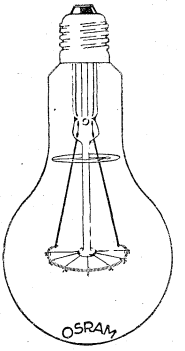


Bild 98. Nitralampe.

Die Verwendung des elektrischen Stromes zur **Erzeugung von Licht** erfolgt heute fast ausschließlich durch Glühlampen, in denen der Strom durch einen Leiter geschickt wird, welcher so bemessen ist, daß er stark erhitzt und weißglühend wird. Dieser Leuchtkörper besteht in fast allen Fällen aus einem gewendelten (schraubenlinienförmig gewickelten) Wolframdraht, der in einem luftleeren oder gasgefüllten Glaskolben eingeschmolzen ist. Für allgemeine Beleuchtungszwecke kommen in der Hauptsache die **Lampen der Einheitsreihe** (15 und 25 Watt) und die D-Lampen (40 bis 100 Watt), die einen doppelt gewendelten Leuchtdraht haben (Bild 97) in Frage, deren Glaskolben innenmattiert sind. Die **Nitralampen** (Bild 98) werden von 150 Watt aufwärts verwendet.

Die Lichtstärke, welche eine Lampe in einer bestimmten Richtung besitzt, wird nach **Hefner-Kerzen** (HK) gemessen. Da diese aber nicht in allen Richtungen gleich ist, gab man für Glühlampen die mittlere horizontale Lichtstärke (HKh) an. Dieses Maß hat man jedoch nur noch für Kohlenfadenlampen beibehalten. Für luftleere und gasgefüllte Metalldrahtlampen ist man dazu übergegangen, ganz allgemein die Lampen nach ihrer Leistungsaufnahme in Watt zu bezeichnen und ihre abgegebene Lichtleistung **(Lichtstrom)** in **Lumen** anzugeben.

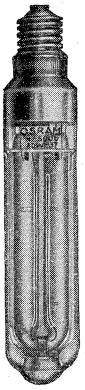


Bild 99. Natriumdampflampe.

Während in den Glühlampen das elektrische Licht auf dem Umweg über Wärme erzeugt wird, erfolgt die Lichtausstrahlung in den seit einiger Zeit eingeführten **Metalldampflampen** durch Ionenemission einer zwischen zwei Elektroden erzeugten Metalldampfstrecke. Von diesen Entladungslampen entsteht in der **Natriumdampflampe** (Bild 99) das Leuchten bei Einschaltung des Stromes durch Anregung des Natriumdampfes, und zwar wird Licht von der Spektralfarbe des Natriums ausgesendet (gelb). Die **Quecksilber**-Hochdruckdampflampe (Bild 100), enthält in dem Glaskolben neben einem Grundgas noch Quecksilber, das nach dem Verdampfen durch den elektrischen Strom zum Leuchten angeregt wird, die Lichtfarbe ist bläulich-weiß. Metalldampflampen finden insbesondere für große Anlagen und für Straßenbeleuchtung Verwendung, die Quecksilberdampflampen auch zur Erzeugung von tageslichtähnlichem Mischlicht durch zusätzliche Anordnung von Glühlampen.

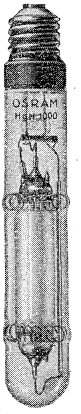


Bild 100. Quecksilber-Hochdruckdampflampe.

Für die neuzeitliche Lichtwerbung werden neben Glühlampen in Verbindung mit selbsttätigen Schaltapparaten **Leuchtröhren** mit Erfolg angewendet. Insbesondere sind hierfür die mit den Edelgasen Neon oder Helium gefüllten Gasentladungsröhren geeignet, die für Spannungen bis 6 kV (3 kV gegen Erde) zulässig sind.

Die **Wärmewirkung** des elektrischen Stromes wird in zunehmendem Maße und in verschiedener Weise nutzbar gemacht. Um den Strom zu Heiz- oder Kochzwecken in Wärme umzuwandeln, wird in der Regel ein Heizdraht benutzt, welcher so bemessen ist, daß er infolge seines großen Widerstandes eine hohe Temperatur annimmt **(Widerstandsheizung).** Alle gebräuchlichen Heizgeräte enthalten Heizelemente in entsprechender Form, in denen der Heizdraht auf Isoliermaterial (Glimmer, Porzellan, Zement) aufgebracht ist. Die Wärmewirkung hängt nur ab von der Stärke des Stromes und von dem Widerstand des Leiters, den er durchfließt, und zwar erzeugt eine Kilowattstunde (kWh) 860 Wärmeeinheiten (kcal). Die Stromart (Gleichstrom, Drehstrom) ist für die Benutzung der Widerstandsheizung gleichgültig, dagegen bedingt die Spannung je nach ihrer Höhe verschiedene Heizelemente. Auch Geräte, welche außer dem Heizelement motorische Einrichtungen besitzen (z. B. Haartrockner), verlangen im allgemeinen keine Berücksichtigung der Stromart, da sie gewöhnlich mit Universalmotoren versehen sind, die sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom verwendet werden können.

STROMERZEUGUNGS-ANLAGEN

Bei den nachstehend behandelten Stromerzeugungs- und Schaltanlagen ist nicht an die Einrichtung der Großkraftwerke für die öffentliche Stromversorgung gedacht, deren Planung über den Rahmen des Buches hinausgeht. Es sollen hier nur Richtlinien für den Entwurf kleiner und mittlerer Anlagen, in erster Linie für gewerbliche und industrielle Zwecke gegeben werden. Soweit Hochspannung in Frage kommt, ist im allgemeinen an Spannungen bis 35 kV gedacht.

I. Allgemeines.

Lage des Kraftwerkes.

Als Lage des Kraftwerkes ist vom Standpunkt der elektrischen Kraftübertragung der Mittelpunkt des Stromversorgungsgebietes zu wählen. Es werden hierdurch die Längen der zu den Stromverbrauchern führenden Hauptleitungen und damit die Anlagekosten, dann aber auch die auftretenden Leistungsverluste in den Leitungen auf ein Mindestmaß herabgesetzt. Bei Dampfkraftanlagen muß jedoch Rücksicht auf andere Dampfverbraucher, auf das Dampfleitungsnetz und bei Maschinen mit Kondensation auch auf die Kühlwasserbeschaffung für den Kondensator genommen werden. Wasserkraftanlagen werden stets in Nähe der Wasserkraft angelegt, ohne Rücksicht auf die Lage der Stromverbraucher.

Wahl der Maschinengrößen.

Bei der Planung des Kraftwerkes ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß eine Unterbrechung der Stromlieferung nach Möglichkeit vermieden werden muß. Es empfiehlt sich deshalb, die Gesamtleistung auf mehrere Maschineneinheiten zu verteilen, wodurch sich auch eine bessere Wirtschaftlichkeit erreichen läßt und zwar dadurch, daß Leistungsbedarf und Leistungserzeugung besser aufeinander abgestimmt werden können.

Nur selten ist der Strombedarf über alle Betriebsstunden der gleiche, so daß in der Regel eine einzige Maschine häufig mit Teilbelastung laufen müßte. Zur Erzielung eines günstigen Wirkungsgrades muß aber jeder Maschinensatz möglichst voll ausgenutzt werden. Man kann nun z. B. eine Maschine zur Deckung der dauernd auftretenden Grundlast die ganze Betriebszeit durchlaufen lassen und fährt die zweite Maschine erst mit Beginn der Betriebsspitzen an. Dadurch wird neben der Betriebsmittelersparnis auch die Lebensdauer der Anlage verlängert. Ein weiterer Vorteil der Aufteilung der Leistung auf mehrere Maschinensätze ist die Möglichkeit, bei Ausfall einer Maschine im Notfall die Stromlieferung unter Einschränkungen weiterführen zu können. Man wird daher meistens drei gleiche Maschineneinheiten aufstellen, von denen zwei für die Bedarfsdeckung und die dritte als Reserve dient. Bei großer Kraftwerkleistung und starken Leistungsschwankungen im Tages- und Jahresfahrplan des Kraftwerkes kann eine noch weitergehende Unterteilung von Vorteil sein. Die Maschineneinheiten sind mit Rücksicht auf die Wartung und die Vorratshaltung von Ersatzteilen möglichst gleich zu wählen.

Unter Umständen kann auch die Kopplung mit einem benachbarten Werk oder einem Überlandnetz eine ausreichende Sicherheit für die Stromversorgung bieten.

Wahl der Stromart.

Für kleinere Anlagen ist der Gleichstrom die zweckmäßigste Stromart, da unter Verwendung einer Akkumulatorenbatterie während des Stillstandes der Maschine, also hauptsächlich während der Nachtstunden, eine Stromlieferung ohne Wartung möglich ist.

Drehstrom kommt besonders für große Leistungen und überall dort zur Anwendung, wo es sich um die Übertragung von elektrischer Energie auf große Entfernungen

handelt, weil hier mit Rücksicht auf die Einsparung an Leitungswerkstoff Hochspannung verwendet werden muß. Die Umspannung auf jede gewünschte Gebrauchsspannung ist bei Drehstrom durch Verwendung von Umspannern (Transformatoren) einfach und mit hohem Wirkungsgrad möglich. Auch die Umformung auf Gleichstrom kann im Bedarfsfall durch Maschinenumformer oder Gleichrichter am Verbrauchsort durchgeführt werden.

II. Antriebsmaschinen und Stromerzeuger.

Wahl der Kraftmaschine.

Für die Wahl der Antriebsmaschine eines Stromerzeugers ist vorwiegend die gute Eingliederung in den wirtschaftlichen Rahmen der Gesamtanlage ausschlaggebend. Werden z. B. in dem Betrieb für Wärme- und chemische Zwecke größere Dampfmengen benötigt, die an sich schon die Aufstellung einer Kesselanlage bedingen, so wird man Dampfturbinen oder Kolbendampfmaschinen für die Stromerzeugung benutzen; das für diese Maschinen aufzubringende zusätzliche Wärmegefälle läßt sich mit einem verhältnismäßig geringen Mehraufwand an Kohle erzeugen. Man wählt die Maschinen als reine Gegendruckmaschinen, wenn der Kraftbedarf stets gleich oder kleiner als der Dampfbedarf ist oder als Anzapfmaschinen mit Kondensation, wenn der Kraftbedarf den Dampfverbrauch dauernd oder zeitweise übersteigt.

Dampfturbinen.

Dampfturbinen haben geringen Raumbedarf und sind den Kolbenmaschinen be großen Leistungen und üblichem Wärmegefälle auch wirtschaftlich überlegen. Sie liefern ohne besondere Vorkehrungen ölfreien Abdampf, wie er für chemische Aufbereitung und sonstige Zwecke häufig verlangt wird. Für Leistungen bis etwa 3000 kW ist in der Regel zwischen Turbine und Generator ein Zahnradvorgelege geschaltet, um die Turbine mit der für sie wirtschaftlich günstigen hohen Drehzahl betreiben zu können. Durch das Getriebe wird die Drehzahl für den Stromerzeuger bei Drehstrom von 50 Hz auf 1000 oder 1500 U/min als baulich günstigste und bei Gleichstrom auf die für eine einwandfreie Kommutierung noch zulässige Drehzahl herabgesetzt. Über 3000 kW hinaus werden Turbine und Generator gewöhnlich unmittelbar gekuppelt und laufen dann mit einheitlicher Drehzahl von 3000 U/min bezogen auf Drehstrom von 50 Hz.

Kolbendampfmaschinen.

Kolbendampfmaschinen werden als liegende Maschinen mit waagerecht liegendem Zylinder oder als stehende Kapseldampfmaschinen mit senkrechter Zylinderanordnung ausgeführt. Liegende Maschinen arbeiten durchweg mit niedrigerer Drehzahl als stehende Maschinen. Sind zur Ausnutzung des Dampfgefälles mehr als ein Zylinder erforderlich, so werden diese bei liegender Maschine entweder hintereinander als Tandembauart angeordnet oder nebeneinander als Verbundmaschine mit zwei Kurbeln, die um 90 bis 105° gegeneinander versetzt sind. Bei stehenden Dampfmaschinen werden die Zylinder ohne Ausnahme nebeneinander gesetzt. Während Kesselanlage und Maschine fast immer räumlich getrennt aufgestellt werden, sind sie in der Kesseldampfmaschine (Lokomobile) zusammengefaßt, um Kessel- und Maschinenwartung zu vereinfachen. Wird auch noch der Generator unmittelbar mit der Welle der Kesseldampfmaschine starr gekuppelt, dann ist eine Stromerzeugungsanlage mit denkbar geringstem Platzbedarf geschaffen.

Gasmaschinen.

Gasmaschinen finden dort Anwendung, wo entweder Gas aus dem Betriebe anfällt (als Gichtgas, oder in Kokereien, Gaswerken u. a. m.), oder wo Dampf im Betrieb nicht benötigt und eine Kesselanlage unerwünscht oder unwirtschaftlich wird. Das

Gas wird dann von einem besonderen Gaserzeuger geliefert. Als Ausgangsstoff für die Gasgewinnung können minderwertige Kohle oder auch Holz- und Pflanzenabfälle benutzt werden.

Während Gichtgasmaschinen mit Nennleistungen bis zu mehreren tausend PS immer noch in liegender Bauart ausgeführt werden, geht man bei Generator-Gasmaschinen mehr zur stehenden Bauart über unter Benutzung der aus dem Dieselbau entlehnten Bauformen. In besonderen Fällen lassen sich solche Maschinen sogar als Wechselmotoren für Gas- und Dieselbetrieb ausführen, wenn z. B. Gas nicht dauernd zur Verfügung steht. Die Umstellung dieser Wechselmotoren erfolgt durch Veränderung des Kompressionsraumes und Austausch einiger Steuerungsteile.

Dieselmotoren.

Dieselmotoren benötigen keinerlei Nebenanlagen wie Kessel, Gaserzeuger usw., die gesamte Maschinenanlage hat daher nur einen geringen Raumbedarf. Die Motoren können ohne zeitraubende Vorbereitungen sofort in Betrieb genommen werden und stellen verhältnismäßig geringe Ansprüche an die Wartung. Sie eignen sich daher ganz besonders zur Deckung des Spitzenbedarfs und als Reserve- und Notstrommaschinen. Dieselmotoren werden mit wenig Ausnahmen in stehender, mehrzylindriger Bauart geliefert.

Wasserturbinen.

Wasserturbinen werden zur Stromerzeugung stets herangezogen, wenn dazu geeignete Wasserkräfte vorhanden sind. Je nach Leistung und Gefälle werden sie als Freistrahlturbine (Peltonturbine) für hohes Gefälle, als Spiralturbine (Francisturbine) für geringes Gefälle und als Schnelläufer-Propellerturbine (Kaplanturbine) ausgeführt. Francis- und Kaplanturbinen werden häufig mit senkrechter Welle verwendet, um Laufrad und Turbine möglichst tief anordnen zu können.

Bestimmung der Leistung.

Wird von der Antriebsmaschine ausgegangen, deren Leistung N in PSe bekannt ist, und bedeutet η den Wirkungsgrad des Generators, so ist die an den Klemmen abgegebene Leistung in Kilowatt

$$kW = N \cdot \eta \cdot 0{,}736.$$

Bei mittelgroßen Gleichstromgeneratoren, deren Wirkungsgrad in der Nähe von 90% liegt, beträgt demnach die abgegebene Leistung in Kilowatt

$$kW = \sim 0{,}66 \cdot N.$$

Bei Wechsel- und Drehstromgeneratoren ist noch der Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) zu berücksichtigen. Bei Erweiterung bestehender Anlagen ist der Leistungsfaktor bekannt, bei Neuanlagen kann er auf Grund von Erfahrungen in ähnlichen Betrieben mit genügender Sicherheit geschätzt werden. Die Leistung in kVA der Dreh- und Wechselstromgeneratoren ist demnach

$$kVA = \frac{N \cdot \eta \cdot 0{,}736}{\cos \varphi} \text{ oder}$$

bei einem Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0{,}8$

$$kVA = N \cdot \eta \cdot 0{,}92.$$

Bei mittelgroßen Drehstromgeneratoren ist die abgegebene effektive Leistung in kW annähernd von der gleichen Größenordnung wie oben für Gleichstromgeneratoren angegeben, die scheinbare Leistung in kVA dagegen unter Zugrundelegung des meistens anzunehmenden $\cos \varphi = 0{,}8$ etwa $0{,}83\times$ der Antriebsleistung in PSe.

Wichtig für die Leistungsbestimmung der Maschinensätze ist noch die Überlastbarkeit der Antriebsmaschinen zum Ausfahren von Lastspitzen, die bei den einzelnen Antriebsmaschinen stark voneinander abweichen, während die Überlastbarkeit der

Generatoren durch die Regeln für die Bewertung und Prüfung von Maschinen (REM) des VDE genau festgelegt ist.

Dampfturbinen werden so ausgelegt, daß sie den besten spezifischen Dampfverbrauch bei der häufigst auftretenden Last haben. Darüber hinaus ist die Turbine bei entsprechend höherem Dampfverbrauch oft bis 25% dauernd überlastbar, weshalb die Nennleistung der Generatoren dann auf diese dauernde Höchstleistung abgestimmt wird, sobald die Überlastbarkeit für längere Zeit in Anspruch genommen werden soll.

Bei Kolbendampfmaschinen sind folgende kennzeichnende Leistungsbezeichnungen gebräuchlich: normale Leistung bei wirtschaftlich bester Füllung, höchste Dauerlast, die etwa 25 bis 30% über der normalen Leistung liegt; vorübergehende Höchstleistung, die etwa 10% höher als die höchste Dauerleistung ist. Üblicherweise wird der Generator für etwa 90% der höchsten Dauerlast bemessen.

Gasmotoren und Dieselmotoren sind mit Rücksicht auf erhöhte Wärmebeanspruchungen wenig überlastbar. Die Hersteller von Dieselmotoren gewährleisten allgemein eine Überlastbarkeit von 10% eine Stunde lang und 20% für vorübergehende Lastspitzen. Die Generatorleistung wird in diesem Fall auf die Nennlast der Antriebsmotoren abgestimmt.

Wasserturbinen werden ebenfalls möglichst voll ausgenutzt, die Generatoren deshalb stets für die volle Turbinenleistung ausgelegt.

Die oben gegebene Ermittlung der abgegebenen Leistung aus der Antriebsleistung soll lediglich die Auswahl unter den zur Verfügung stehenden Maschineneinheiten erleichtern und die bestmögliche Ausnutzung beider Maschinenseiten (d. h. Antriebsmaschine und Generator) sicherstellen.

Wahl der Drehzahl.

Die Drehzahl einer elektrischen Maschine ist bei Drehstrom gegeben durch

$$n = \frac{\text{Frequenz} \times 60.}{\text{Polpaarzahl}}$$

Demnach erfordern Drehstrom- und Wechselstrom-Generatoren für die in Deutschland übliche Frequenz von 50 Hz nachstehende Drehzahlen.

Normale Drehzahlen von Drehstrommaschinen bei 50 Hz.

Nach den R.E.M./1930.

Anzahl der Polpaare p .	40	36	32	28	24	20	18	16	14	12
Drehzahl U/min	75	83	94	107	125	150	167	188	214	250
Anzahl der Polpaare p .	10	8	7	6	5	4	3	2	1	
Drehzahl U/min	300	375	428	500	600	750	1000	1500	3000	

Höhere Frequenzen erfordern im selben Verhältnis höhere Drehzahlen, geringere Frequenzen im selben Verhältnis geringere Drehzahlen.

Die für Drehstromgeneratoren bei 50 Hz erforderlichen Drehzahlen sind auch für Gleichstromgeneratoren allgemein gebräuchlich, jedoch können Gleichstromgeneratoren für jede beliebige Drehzahl gebaut werden.

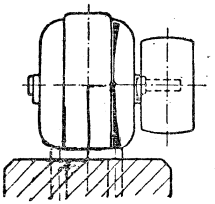


Bild 1.
Form B 3 mit Riemenscheibe *. 2 Lagerschilde, normale Riemenscheibe.

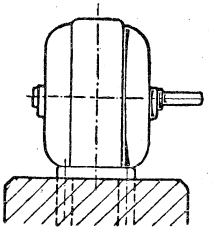


Bild 2.
Form B 3 *. 2 Lagerschilde, freies zylindrisches Wellenende.

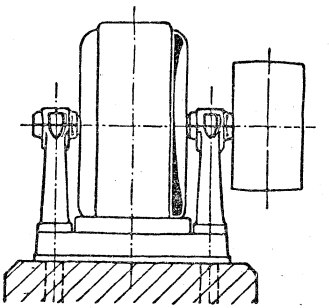


Bild 3.
Form D 5 mit Riemenscheibe *.
2 Stehlager auf gemeinsamer Grundplatte, normale Riemenscheibe.

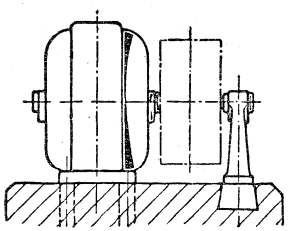


Bild 4. Form C 1 *.
2 Lagerschilde, freistehendes drittes Lager auf besonderer Sohlplatte ohne Riemenscheibe.

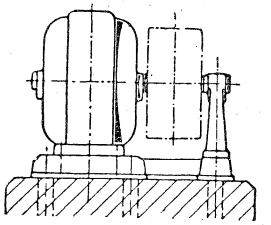


Bild 5. Form C 2 *.
2 Lagerschilde, ein drittes Stehlager, gemeinsame Grundplatte, ohne Riemenscheibe.

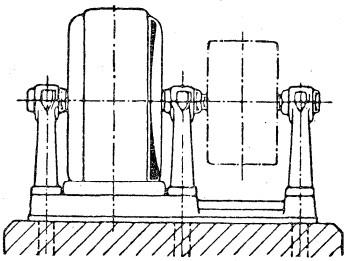


Bild 6. Form D 13 *.
3 Stehlager auf gemeinsamer Grundplatte, ohne Riemenscheibe.

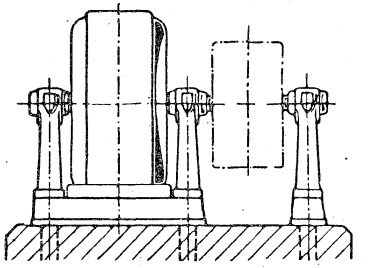


Bild 7. Form D 14 *.
2 Stehlager auf gemeinsamer Grundplatte, drittes Lager auf besonderer Sohlplatte, ohne Riemenscheibe.

Ausführungsformen für Riemen- und Seilantriebe.

* Die Formbezeichnungen sind dem Normblatt DIN VDE 2950 entnommen.

Antriebsarten.

Riemen- und Seilantriebe.

Flachriemen-, Keilriemen- und Seilantriebe kommen vorwiegend bei langsamlaufenden Antriebsmaschinen zur Anwendung. Die Wahl und Ausführung des Antriebes hat nach den gleichen Gesichtspunkten zu erfolgen, wie im Abschnitt „Motoren" angegeben. Zu beachten ist, daß der Riemenantrieb möglichst ohne Schloß auszuführen ist, da Riemenschläge zu Spannungsschwankungen führen und Störungen im Lichtbetrieb verursachen können. Die Ausführung der Generatoren geschieht nach den Bildern 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, wobei die Schildlagerausführung bei kleinen Leistungen und geringem Riemenzug, die Stehlagerform bei großen Leistungen und starkem Riemenzug verwendet wird.

Bei Riemen- und Seiltrieben ist man im Rahmen des zulässigen Übersetzungsverhältnisses in der Wahl der Drehzahl des Generators nicht behindert. Man wird die Generatordrehzahl so hoch wählen, wie es für die jeweilige Leistung zulässig erscheint, um unter Ausnutzung der Übersetzung ins Schnelle einen möglichst billigen Generator zu erhalten.

Direkte Kupplung.

Bei unmittelbarer Kupplung ist für die Festlegung der Drehzahl in erster Linie das Verhalten und die Art der Antriebsmaschine zu berücksichtigen. Bei Kolbenmaschinen spielt bei der mit steigender Drehzahl größer werdenden Abnutzung das Verhältnis von Betriebszeit zur Lebensdauer eine wichtige Rolle. Bei Wasserturbinen ist die Drehzahl durch Gefälle und Wassermenge und deren günstigste Nutzung festgelegt.

Wegen ihrer technischen Vorteile gegenüber anderen Antriebsarten ist die unmittelbare Kupplung bei allen Leistungen anzustreben, sofern die wirtschaftlich günstigen Drehzahlen der Antriebsmaschine und des Stromerzeugers nicht zu weit auseinanderliegen. Maschine und Generator lassen sich in gefälliger und gedrängter Bauart zu einer Einheit zusammenfassen, und der Raumbedarf wird dadurch auf ein Mindestmaß herabgesetzt. Es ist beim Zusammenbau zu beachten, daß dieser Vorteil nicht durch ungünstige Anordnung, überflüssige Lager und Kupplungen oder durch unzweckmäßige Unterbringung der Schwungräder teilweise wieder aufgehoben wird. Alle der Abnutzung und ständigen Wartung unterworfenen Teile müssen gut zugänglich, die umlaufenden Maschinenteile gegen zufällige Berührung hinreichend geschützt sein. Die Kupplung kann starr durch Zusammenflanschen der Wellen oder über eine elastische Kupplung erfolgen.

Die elastische Kupplung, vorwiegend bei kleinen, schnellaufenden Maschineneinheiten üblich, ermöglicht einen schnellen und bequemen Zusammenbau und gestattet die Verwendung der lagermäßigen Bauform B 3 mit freiem Wellenende (Bild 2). Bei zweckmäßiger Auslegung erhöht sie bei Kolbenmaschinen die Gleichförmigkeit des Ganges und ermöglicht u. U. die Verwendung eines leichteren Schwungrades.

Bei starrer Kupplung sind die Generatoren hinsichtlich der Wellen- und sonstigen Anschlußmaße den Antriebsmaschinen anzugleichen. Die für starre Kupplung in Frage kommenden Ausführungsformen zeigen die Bilder 8, 9, 10, 11, 12, 13 und 14.

Die zur Regelung der Antriebsmaschine und für ihren ruhigen Gang erforderlichen Schwungmassen sollen, wenn irgend möglich, zur Vereinfachung und zur Verkürzung der Baulänge in den umlaufenden Teil des Generators gelegt werden. Diese Forderung läßt sich ohne Schwierigkeiten bei allen Wechsel- und Drehstromgeneratoren mit großer Polzahl erfüllen, deren schwungradartiges Polrad sich gut für die Unterbringung zusätzlicher Schwungmassen eignet. Zwecks Vergrößerung des Trägheitsdurchmessers, d. h. zwecks Erreichung des gleichen Schwungmomentes mit geringeren

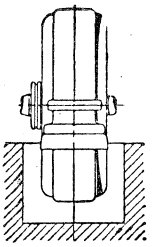


Bild 8.
Form A 3*.
Gehäuse auf Sohlplatten, ohne Lager, ohne Welle.

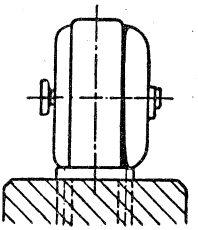


Bild 9. Form B 2.
1 Lagerschild, einlagerige Welle mit Flansch.

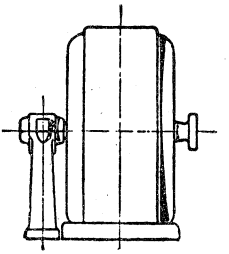


Bild 10. Form D 1*.
1 Außenlager, einlagerige Welle mit Flansch, ohne Grundplatte.

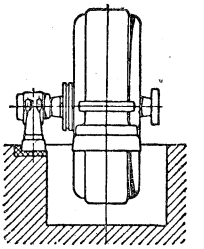


Bild 11. Form D 3*.
1 Außenlager auf besonderer Sohlplatte, Gehäuse auf Sohlplatten, einlagerige Welle mit Flansch.

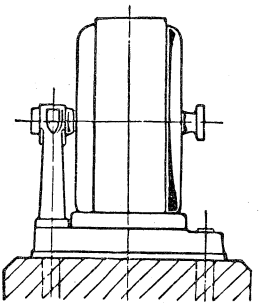


Bild 12. Form D 2*.
1 Außenlager auf verkürzter Grundplatte, Welle mit Flansch.

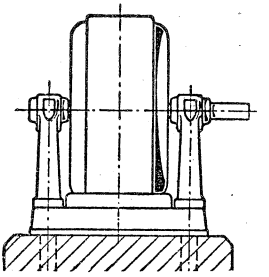


Bild 13. Form D 5*.
2 Stehlager auf gemeinsamer Grundplatte mit dem Gehäuse, freier Wellenstumpf.

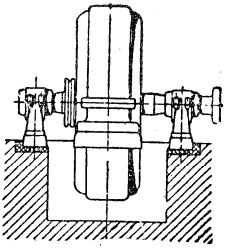


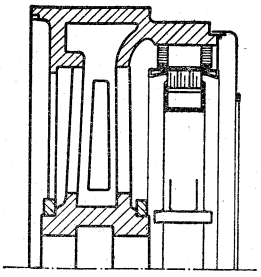
Bild 14. Form D 12.
2 Lager auf Sohlplatten, Gehäuse auf Sohlplatten, Welle mit Kupplungsflansch.

Ausführungsformen für direkte Kupplung.

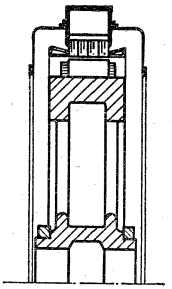
Maßen führt man die Maschine häufig mit außenumlaufendem Schwungkranz als Außenpolmaschine aus.

Reicht der Trägheitsdurchmesser des bei geringer Polzahl verwendeten Innenpolgenerators nicht aus, dann ist man auf ein Seitenrad angewiesen, das unmittelbar neben dem Ständer umläuft und mit dem Polkranz aus einem Stück gegossen oder auch mit diesem verschraubt ist. Bei Drehzahlen von 428 U/min und darüber ist grundsätzlich das billigere getrennte Zusatzschwungrad zu empfehlen, ebenso bei allen Gleichstrommaschinen, deren umlaufender Teil aus magnetisch aktivem Werkstoff besteht und einen verhältnismäßig kleinen Durchmesser aufweist, so daß er für die zusätzliche Unterbringung von Schwungmassen ungeeignet ist.

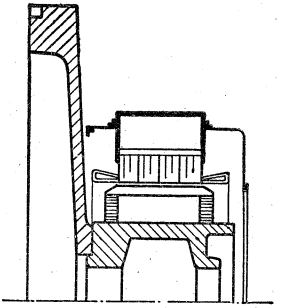
* Die Formbezeichnungen sind dem Normblatt DIN VDE 2950 entnommen.



Außenpol-Schwungrad-Generator.



Innenpol-Schwungrad-Generator.



Innenpol-Generator mit seitlich herausgezogenem Schwungrad.

Bild 15.

Unterbringung der Schwungmassen im Schwungradgenerator.

Die in den nachfolgenden Bildern 16—19 angeführten Buchstaben haben folgende Bedeutung:

K = Kurbel	Sd = Schwungrad
Kl = Kurbellager	A = Außenlager
G = Generator	E = Erregermaschine
S = Schleifringe	R = Riemenscheibe.

Liegende Einkurbelmaschinen.

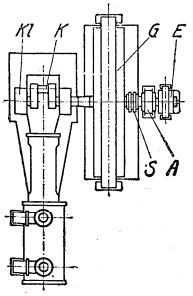


Bild 16.

Bild 16. Drehstrom, innenumlaufend.

Generator: ohne Welle und Lager. Form A 3.

Läufer als Schwungrad ausgebildet, mit Zahnkranz für die Andrehvorrichtung, einteilig oder bei schweren Ausführungen auch mehrteilig. Erregermaschine ohne Welle und Lager, Anker fliegend. Bei großen Schwungmassen stellt sich der Preis eines Generators mit außenumlaufendem Läufer im allgemeinen billiger.

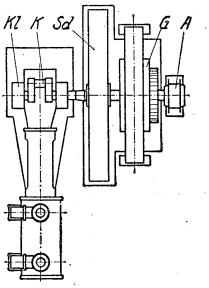


Bild 17.

Bild 17. Gleichstrom oder Drehstrom, mit Zusatzschwungrad.

Generator: ohne Welle und Lager. Form A 3.

Bürstenjoch drehbar am Gehäuse, Anker mit verstärkter Nabe.

Schleifringe für Spannungsteilung werden wie nach Bild 42 zwischen Außenlager und Generator angeordnet.

Liegende Zweikurbelmaschinen.

Bild 18.

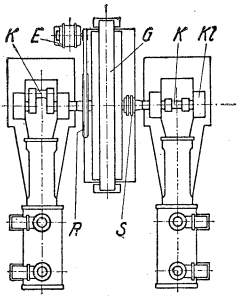


Bild 18.

Drehstrom, innenumlaufend.

Generator: ohne Welle und Lager. Form A 3.

Läufer als Schwungrad ausgebildet, mit Zahnkranz für die Andrehvorrichtung, mindestens zweiteilig, bei schweren Ausführungen auch vierteilig.

Erregermaschine getrennt aufgestellt und von einer zweiteiligen Riemenscheibe von der Kurbelwelle aus angetrieben. Spannrolle empfehlenswert.

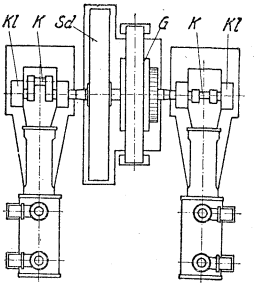


Bild 19.

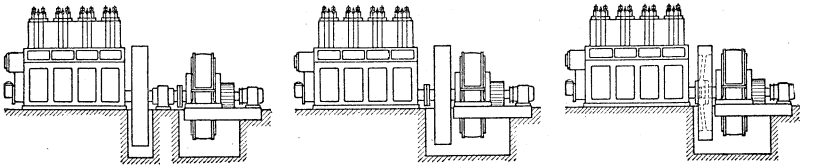
Bild 19. Gleichstrom oder Drehstrom, mit Zusatzschwungrad.

Generator: ohne Welle und Lager. Form A 3.

Bürstenjoch drehbar am Gehäuse.

Anker mit innerer freier Durchgangsöffnung zum Überstreifen über die Kurbel K, Raum zwischen Ankerbohrung und Welle ausgefüllt durch eine zweiteilige Binnennabe. Schleifringe für Spannungsteilung zwischen Generator und Kurbellager Kl.

Stehende Maschinen.



a) b) c)

Bild 20. Zusammenbau von Gleichstrom- und Drehstrom-Maschinensätzen mit Zusatzschwungrad.

a) Antriebsmotor mit Schwungrad und Zwischenlager, Generator in Ausführung D2 normal.

b) Antriebsmotor ohne Zwischenlager, Schwungrad auf der Generatorwelle, Generator in Form D2 verstärkt mit verlängerter Welle.

c) Normalausführung, Antriebsmotor ohne Zwischenlager, Schwungrad zwischen den Flanschen, Generator in Form D2 verstärkt.

Wasserturbinen.

Der Läufer des Generators muß den mechanischen Beanspruchungen bei der Durchgangsdrehzahl der Antriebsturbine gewachsen sein, die bei Pelton- und Francisturbinen normal 80% über Nenndrehzahl, bei Kaplanturbinen 150% und mehr über Nenndrehzahl liegen. Dieses bedingt Läufer aus hochwertigem Werkstoff und vielfach schwalbenschwanzförmig eingesetzte Pole und andere Sonderausführungen. Dies gilt in gleicher Weise für unmittelbare Kupplung wie auch für Riementrieb.

Bei unmittelbarer Kupplung können die Generatoren sowohl als reine Schwungradmaschinen als auch für ein Zusatzschwungrad gebaut werden; entscheidend ist im Einzelfall Platz- und Preisfrage. Die Ausführung des Generators bei waagerechter

Turbinenachse erfolgt zweilagerig in Form B 3 oder D 5. Die Welle enthält entweder einen Flansch für starre Kupplung oder bei kleineren Einheiten ein freies Wellenende zur Aufnahme der einen Hälfte einer elastischen Kupplung.

Turbinen mit stehender Welle erfordern stets Sonderausführungen des Generators, dessen Tragkonstruktion dann durch ein besonderes Spurlager das Gewicht und den Wasserschub des Turbinenläufers mit aufnehmen muß. Nur bei langsamen Turbinendrehzahlen, die zur Verwendung eines Zwischengetriebes zwingen, läßt sich eine normale Generatorausführung mit waagerechter Welle durch ein Kegelradvorgelege erreichen.

Bestimmung der Schwungmassen.

Mit Ausnahme der Dampfturbinen reichen die natürlichen Schwungmassen der umlaufenden Maschinenteile für einwandfreien Betrieb und gute Regelung nicht aus, es sind also zusätzlich sowohl bei Kolbenmaschinen als auch bei Wasserturbinen Schwungmassen anzubringen. Die Größe der Schwungmassen muß drei verschiedenen Anforderungen entsprechen:

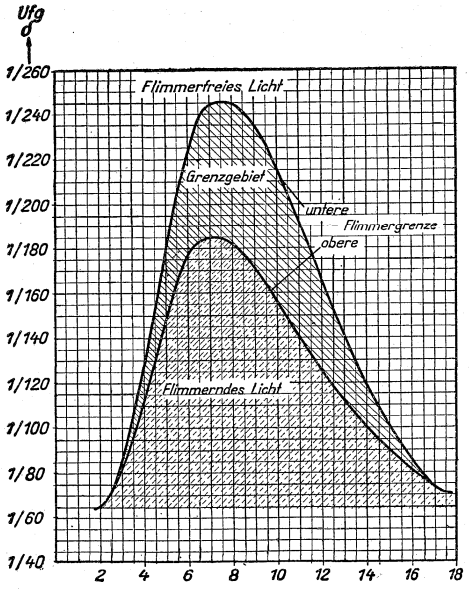


Bild 21. Ungleichförmigkeitsgrad in Abhängigkeit von der Zahl der Kraftimpulse/s.

1. Die Drehzahländerung bei Laständerung darf die üblichen Regelbedingungen nicht überschreiten, d. h. die Schwungmasse muß bei Entlastung die Energie des überschüssigen Antriebsmomentes ohne zu starke Beschleunigung so lange speichern können, bis die Regelung Zeit gefunden hat, das Drehmoment der Antriebsmaschine einzuregeln.

2. Sämtliche Kolbenmaschinen, wie Dampfmaschinen, Gas- und Dieselmotoren usw., haben ein innerhalb einer Wellenumdrehung wechselndes Drehmoment und benötigen deshalb für den ruhigen Lauf ausgleichende Schwungmassen, um einen genügend kleinen Ungleichförmigkeitsgrad zu erhalten, der als Maß für den Gleichgang einer solchen Maschine gilt. Bei direkter Kupplung wird die Ungleichmäßigkeit des Ganges in voller Höhe auf den Generator übertragen, während sie bei Riemenantrieb und bei elastischer Kupplung teilweise durch die Elastizität und den Schlupf des Riemens ausgeglichen wird. Unruhiger Lauf verursacht Spannungsschwankungen, die bei entsprechender Größe im Licht als Flimmererscheinung bemerkbar sind. Die zulässigen Ungleichförmigkeitsgrade in Abhängigkeit von der Zahl der Kraftimpulse je Sekunde sind im Bild 21 als Kurve aufgetragen. Die Zahl der Kraftimpulse erhält man bei gleicher Zündfolge nach folgender Formel:

$$\text{Kraftimpulse} = \frac{2n \cdot \text{Zylinderzahl}}{60 \cdot \text{Taktzahl}}$$

worin mit n die Umdrehungszahl pro Minute und als Taktzahl 2 oder 4 je nach dem Arbeitstakt der Antriebsmaschine einzusetzen sind.

3. Die Schwungmassen von Wechselstromgeneratoren müssen bei Antrieb durch Kolbenmaschinen so gewählt werden, daß im Parallellauf keine Resonanz zwischen der Eigenschwingungszeit des Generators und den Arbeitstakten der Antriebsmaschinen auftritt. Drehstromgeneratoren verhalten sich im Parallelbetrieb anders als Gleichstromgeneratoren. Versucht man die Läufer zweier parallelarbeitender Wechselstromgeneratoren durch Abbremsung oder Beschleunigung eines Läufers aus dem Synchronismus zu bringen, so tritt infolge der Eigenart der Synchronmaschinen zwischen beiden Generatoren ein Ausgleichsmoment auf, das nach Art einer elastischen Feder die beiden Läufer in ihre ursprüngliche, d. h. also in die synchrone Lage zurückzuziehen versucht. Die Läufer können also wie jede durch eine elastische Feder gekuppelte Schwungmasse Schwingungen ausführen, wenn sie durch Resonanz mit den Antriebsimpulsen zu Pendelungen angestoßen werden. Der Parallellauf von Wechselstromgeneratoren ist nur dann gesichert, wenn die Eigenschwingungszeit des Generators so weit von der Grundschwingung des Antriebsimpulses entfernt gehalten wird, daß wesentliche Pendelungen nicht auftreten können. Da die Zeitdauer der Grundschwingung nur vom Arbeitstakt der Antriebsmaschinen abhängt, so sind die erforderlichen Eigenschwingungszeiten bzw. Schwungmomente für Parallellauf von der Zylinderzahl unabhängig. Für überschlägige Rechnungen kann das resonanzfreie Schwungmoment der folgenden Tafel entnommen werden:

Tafel der für Parallelbetrieb erforderlichen Mindestschwungmomente bei Antrieb durch Kolbenmaschinen bezogen auf 50 Hz.

Viertakt-Motoren				Zweitakt-Motoren und Dampfmaschinen			
U/min	kgm²/kVA	U/min	kgm²/kVA	U/min	kgm²/kVA	U/min	kgm²/kVA
150	350	375	9,0	150	87,5	375	2,25
167	228	428	5,3	167	57	428	1,32
188	144	500	2,9	188	36	500	0,72
214	84,5	600	1,4	214	21,2	600	0,35
250	45,5	750	0,57	250	11,4	750	0,14
300	21,9	1000	0,18	300	5,5		

Die Tafelwerte sind mit der Nennleistung des Generators in kVA zu multiplizieren, um die erforderlichen Schwungmomente in kgm² zu erhalten. Die Werte gelten nur bei Parallellauf gleichartiger Antriebsmaschinen von gleicher Drehzahl. Soll eine Maschinenanlage um Einheiten erweitert werden, die eine andere Drehzahl besitzen als die vorhandenen Maschinensätze, so ist besondere Vorsicht angebracht, weil sich infolge der verschiedenen Drehzahlen und gegenseitigen Beeinflussung neue Resonanzmöglichkeiten ergeben. Die Schwungmassen sind in solchen Fällen stets besonders nachzurechnen.

Das zur einwandfreien Regelung erforderliche Schwungmoment wird verantwortlich vom Hersteller der Antriebsmaschine bestimmt, der dem Lieferer des Generators den hiermit erreichten Ungleichförmigkeitsgrad mitteilt. Die Nachrechnung auf flimmerfreies Licht und Parallelbetrieb erfolgt dann von dem Hersteller des Generators. Die Bezugswerte der Regelung werden an Hand der Flimmerkurve auf das für flimmerfreien Lichtbetrieb erforderliche Schwungmoment proportional umgerechnet. Die Bestimmung des für Parallellauf erforderlichen Schwungmomentes geschieht an Hand der vorstehenden Tafel. Eingebaut wird das größte der durch die drei Rechnungen ermittelten Schwungmomente.

Bei Wasserturbinen ist nur Rücksicht auf einwandfreie Regelung zu nehmen; die unter 2. und 3. angeführten Rechnungen kommen wegen des ohnehin gleichförmigen Antriebs in Fortfall.

III. Gleichstromanlagen ohne Akkumulatorenbatterie.

Schaltungen.

In Gleichstrombetrieben hat sich der Nebenschlußgenerator wegen seiner für eine einwandfreie Betriebsführung günstigen elektrischen Verhältnisse und einfachen Bedienung am meisten eingeführt. Er findet sowohl in reinen Licht- oder Kraftanlagen als auch in gemischten Anlagen Verwendung. Bild22 zeigt die Schaltung eines Nebenschlußgenerators mit Hilfspolwicklung für eine Gleichstrom-Zweileiteranlage.

Bei Gleichstrom-Dreileiteranlagen wurden früher gewöhnlich zwei Generatoren hintereinander geschaltet, wobei der Nullpunkt durch die Verbindungsleitung zwischen beiden Maschinen gebildet wurde. Durch Verwendung eines Spannungsteilers ist man aber in der Lage, mit nur einer Maschine eine derartige Anlage zu speisen. Die Schaltung ist dann nach Bild 23 auszuführen. Der Generator muß jedoch für die Außenleiterspannung gebaut sein und außer dem Kollektor zwei Schleifringe haben, die mit zwei gegenüberliegenden Punkten der Ankerwicklung verbunden sind. An diese Schleifringe wird ein induktiver Widerstand angeschlossen, der als Spannungsteiler bezeichnet und von dessen Mitte der Nulleiter des Netzes abgenommen wird.

Solange die Belastung in den beiden Netzhälften gleich groß ist, fließt durch den Widerstand lediglich ein kleiner Wechselstrom zur Magnetisierung des Spannungsteilers. Sind die

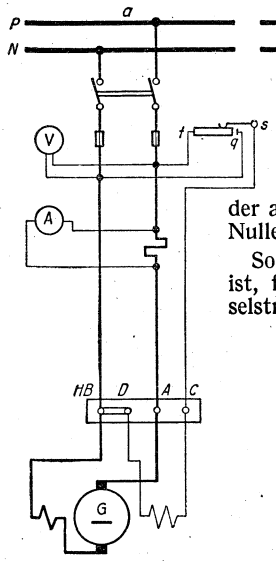
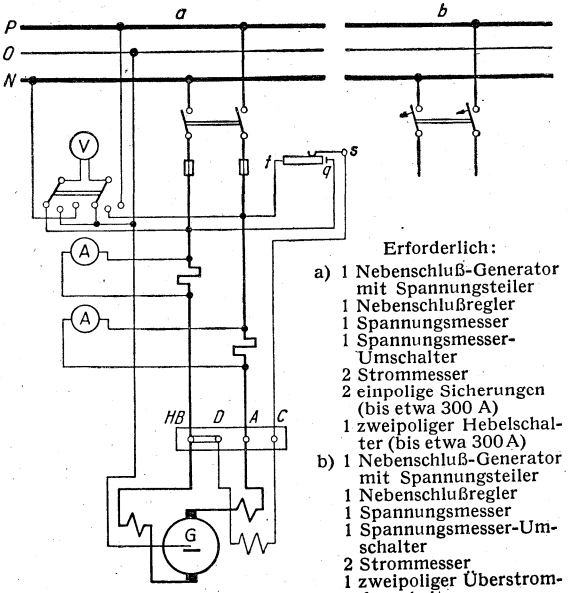


Bild 22. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Zweileiter-Generator.
(Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen.)

Erforderlich:

a) 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Strommesser
2 einpolige Sicherungen
1 zweipoliger Hebelschalter (bis etwa 300 A)

b) 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Strommesser
1 einpoliger Überstrom-Ausschalter
1 einpoliger Hebelschalter
1 einpolige Sicherung



Erforderlich:

a) 1 Nebenschluß-Generator mit Spannungsteiler
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Spannungsmesser-Umschalter
2 Strommesser
2 einpolige Sicherungen (bis etwa 300 A)
1 zweipoliger Hebelschalter (bis etwa 300 A)

b) 1 Nebenschluß-Generator mit Spannungsteiler
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Spannungsmesser-Umschalter
2 Strommesser
1 zweipoliger Überstrom-Ausschalter

Bild 23. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Dreileiter-Generator.
(Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen.)

Belastungen jedoch verschieden groß, so fließt die Differenz der beiden Außenleiterströme durch den Nulleiter und die betreffende Hälfte des Spannungsteilers wieder zum Anker zurück. Die Spannungsteiler werden im allgemeinen für eine Belastung von 15% der Außenleiterstromstärke des Generators gebaut. Der hierbei im Spannungsteiler auftretende Spannungsabfall beträgt nicht mehr als etwa 1,5% der halben Außenleiterspannung.

Eine weitere Art von Generatoren, die in Gleichstrombetrieben noch Verwendung finden, ist der Kompound- oder Doppelschlußgenerator. Er besitzt außer der Nebenschlußwicklung noch eine Reihenschlußwicklung und wird daher besonders in Kraftwerken für schwere Betriebe, in denen mit starken Belastungsschwankungen und Überlastungen zu rechnen ist, wie elektrische Bahnen, Hütten- und Walzwerke, verwendet. Die Reihenschlußwicklung kann auch so bemessen werden, daß die Klemmenspannung mit wachsender Belastung nicht nur konstant bleibt, sondern bei Vollast größer als bei Leerlauf ist, um den größeren Spannungsabfall in den Leitugnen auszugleichen. Man spricht dann von einer Überkompoundierung. Diese Maschinen können ebenso wie die Nebenschlußgeneratoren für Spannungsteilung eingerichtet werden.

Parallelschalten von Gleichstromgeneratoren.

Nebenschlußgeneratoren.

Für ein gutes Parallelarbeiten von Nebenschlußgeneratoren ist erforderlich, daß die Belastungscharakteristik, die die Abhängigkeit der Klemmenspannung von der Belastungsstromstärke darstellt, bei den betreffenden Maschinen möglichst gleich ist, d. h. die Erregung und der Widerstand des Ankers müssen in gleichem Verhältnis zur Leistung der Maschine stehen. Nur dann erfolgt bei Belastungsschwankungen die Lastverteilung auf die einzelnen Maschinen selbsttätig ihren normalen Leistungen entsprechend. Sind diese Verhältnisse jedoch verschieden, so nehmen die stärker magnetisierten Maschinen mehr Last auf und können bereits überlastet sein, während die weniger stark gesättigten nur eine geringe Belastung aufweisen. Es ist dann ein häufiges Verstellen der Nebenschlußregler erforderlich, um die Last wieder richtig zu verteilen. Die Schaltung für parallel arbeitende Nebenschlußmaschinen zeigt Bild 24.

Vor der ersten Inbetriebsetzung eines Generators empfiehlt es sich, die Schaltung daraufhin zu prüfen, ob gleiche Pole der Maschine an gleiche Sammelschienenpole angeschlossen sind. Zu diesem Zwecke wird, nachdem die Spannung des Generators auf die Höhe derjenigen der Sammelschienen gebracht worden ist, der Hebelschalter eingeschaltet und an die beiden Anschlußklemmen des Selbstschalters ein Drehspulspannungsmesser gelegt. Bei richtiger Schaltung zeigt der Spannungsmesser keinen Ausschlag, während andernfalls die doppelte Spannung angezeigt wird und die beiden zu den Sammelschienen führenden Leitungen am Generator vertauscht werden müssen.

Um einen Nebenschlußgenerator mit einem bereits in Betrieb befindlichen parallel zu schalten, ist er zunächst auf die normale Drehzahl zu bringen und die Klemmenspannung mit dem Nebenschlußregler so einzustellen, daß sie mit der Sammelschienenspannung übereinstimmt. Dann ist der Hebelschalter und der Selbstschalter einzuschalten und die Stromstärke in der Nebenschlußwicklung durch Ausschalten von Widerstand im Nebenschlußregler so lange zu erhöhen, bis der Strommesser die gewünschte Belastung anzeigt. Gleichzeitig ist die Erregung der ersten Maschine durch Vorschalten von Widerstand in ihrem Nebenschlußregler entsprechend zu schwächen. Während des Betriebes ist die Lastverteilung auf die Maschinen mittels der Nebenschlußregler möglichst gleichmäßig vorzunehmen.

Das Abschalten einer Maschine erfolgt in umgekehrter Weise. Die Erregung der abzuschaltenden Maschine ist also zu schwächen und die der in Betrieb bleibenden zu verstärken, bis letztere Maschine die Gesamtlast übernommen hat. Der Selbstschalter der stillzusetzenden Maschine schaltet dann selbsttätig aus oder wird beim Stande des Strommessers auf Null von Hand ausgeschaltet.

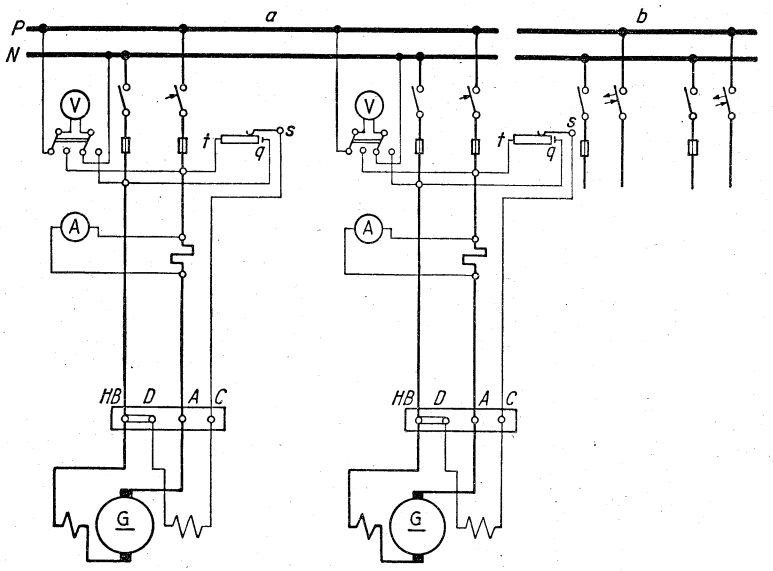


Bild 24. Schaltplan für 2 parallel arbeitende Gleichstrom-Zweileiter-Generatoren. (Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen.)

Erforderlich:

a) 2 Gleichstrom-Nebenschluß-Generatoren
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
2 Spannungsmesser-Umschalter
2 Strommesser
2 einpolige Rückstrom-Ausschalter
2 einpolige Hebelschalter
4 einpolige Sicherungen (bis etwa 300 A)

b) 2 Gleichstrom-Nebenschluß-Generatoren
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
2 Spannungsmesser-Umschalter
2 Strommesser
2 einpolige Überstrom- und Rückstrom-Ausschalter
2 einpolige Hebelschalter
2 einpolige Sicherungen

Kompound- oder Doppelschlußgeneratoren.

Das Parallelschalten von Kompound- oder Doppelschlußgeneratoren ist nicht auf so einfache Art wie bei Nebenschlußgeneratoren möglich, da die Klemmenspannung nicht nur durch den Nebenschlußregler eingestellt wird, sondern mit wechselnder Belastung infolge der Reihenschlußwicklung sich auch selbsttätig ändert. Um alle parallel arbeitenden Maschinen an der Leistungsabgabe gleichmäßig zu beteiligen, ist die Parallelschaltung aller Reihenschlußwicklungen durch eine Ausgleichleitung gemäß Bild 25 erforderlich. Hierdurch verteilt sich der Gesamtstrom aller Maschinen auf die Reihenschlußwicklungen ihren Widerständen entsprechend und bewirkt dadurch eine gleichmäßige Änderung der Maschinenspannungen. Ferner ist es nötig, daß die Widerstände der Anschlußleitungen der einzelnen Maschinen zu der Ausgleichs- und der Sammelschiene gleich groß sind. Bei Maschinen verschiedener Größe stimmt man außerdem die Widerstände der Reihenschlußwicklungen durch Parallelschalten von Widerständen gegenseitig ab.

Soll eine Doppelschlußmaschine mit einer Nebenschlußmaschine parallel arbeiten, so ist ebenfalls die Verlegung einer Ausgleichleitung erforderlich. Bei der Nebenschlußmaschine wird dann die Reihenschlußwicklung durch einen Widerstand gleicher Ohmzahl ersetzt. Wenn irgend angängig, vermeidet man jedoch das Parallelarbeiten von Maschinen ungleicher Charakteristik.

Das Parallelschalten selbst erfolgt in Kraftwerken für Licht- oder gemischten Betrieb, wo also ein Schwanken der Spannung möglichst vermieden werden muß, gewöhnlich auf folgende Weise. Nachdem die hinzuzuschaltende Maschine die normale Drehzahl erreicht hat, wird sie mit dem Nebenschlußregler auf die Sammelschienenspannung gebracht und alsdann der zweipolige Hebelschalter und der Selbstschalter eingeschaltet. Die Übernahme der Last erfolgt nun nicht wie bei Nebenschlußmaschinen

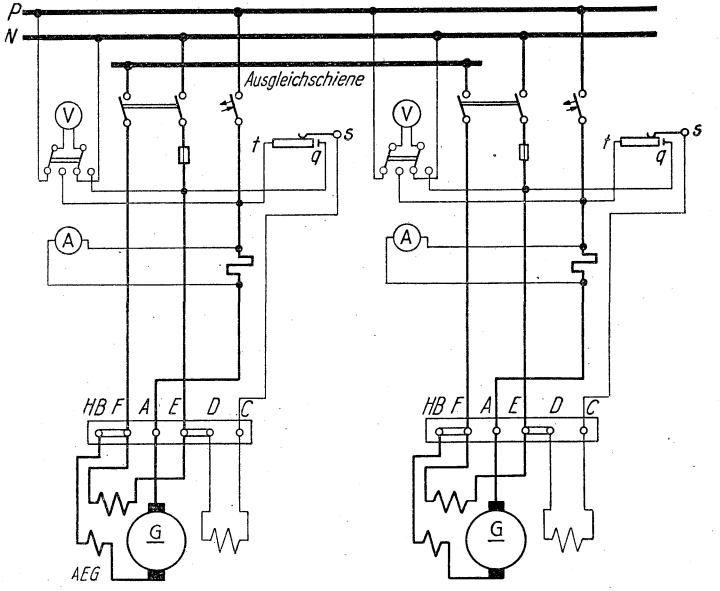


Bild 25. Schaltplan für 2 parallel arbeitende Gleichstrom-Doppelschluß-Generatoren.
(Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen.)

	Erforderlich:
2 Gleichstrom-Doppelschluß-Generatoren	2 Strommesser
2 Nebenschlußregler	2 einpol. Überstrom- u. Rückstrom-Ausschalter
2 Spannungsmesser	2 zweipolige Hebelschalter
2 Spannungsmesser-Umschalter	2 einpolige Sicherungen

allmählich durch Verstellen der Regler, sondern in dem Augenblick des Einschaltens ganz plötzlich, wobei die bereits in Betrieb befindliche Maschine entlastet wird. Die Belastung pendelt in manchen Fällen zunächst noch einige Zeit zwischen den beiden Maschinen hin und her und kann dann mit den Nebenschlußreglern beliebig verteilt werden. Die Ausschaltung einer Maschine erfolgt durch Erhöhung des Widerstandes im Regler, wodurch der Maschinenstrom allmählich abnimmt, bis schließlich der Selbstschalter ausschaltet bzw. von Hand ausgeschaltet wird. Der zweipolige Hebelschalter ist dann ebenfalls auszuschalten und die Sammelschienenspannung nötigenfalls durch den Regler der in Betrieb bleibenden Maschine nachzuregeln.

Bei einer zweiten Art der Parallelschaltung, bei der ein Schwanken der Netzspannung unvermeidlich ist, wird zunächst durch Einschalten des zweipoligen Hebelschalters die Reihenschlußwicklung der hinzukommenden Maschine zu derjenigen der bereits in Betrieb befindlichen parallel geschaltet. Die durch die Verteilung des erregenden Hauptstromes auf zwei Generatoren bedingte Schwächung des Magnetfeldes der arbeitenden Maschine hat ein Sinken der Sammelschienenspannung zur Folge und diese muß durch den Nebenschlußregler nachgeregelt werden. Dann ist

die neue Maschine auf die normale Drehzahl und ihre Spannung auf gleiche Höhe mit der Sammelschienenspannung zu bringen. Nun ist auch der Selbstschalter einzuschalten und die Lastverteilung durch Verstellen der beiden Nebenschlußregler vorzunehmen. Das Ausschalten eines Generators erfolgt in genau derselben Weise wie bei der ersten Art der Parallelschaltung.

IV. Gleichstromanlagen mit Akkumulatorenbatterie.

Akkumulatoren.

Akkumulatoren (Sammler) dienen zur Aufspeicherung elektrischer Energie, um diese zu beliebiger Zeit wieder entnehmen zu können.

Grundform und Wirkungsweise des Bleiakkumulators.

Eine Akkumulatorenzelle besteht in ihrer einfachsten Form aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäß, in welches zwei besonders vorgerichtete Bleiplatten, die braune positive (Bleisuperoxyd-) und die graue negative (Bleischwamm-) Platte eingesetzt sind.

Entladung. Verbindet man die beiden Platten durch einen äußeren Leiter, so fließt ein Strom von der positiven Platte (dem +-Pol der Zelle) durch diesen Stromkreis zur negativen Platte (dem—-Pol der Zelle) und in der Zelle von der negativen durch die Säure zur positiven Platte zurück. Man bezeichnet diesen Vorgang als die Entladung der Zelle, den Strom, den die Zelle abgibt, als den Entladestrom. Während der Entladung findet eine Veränderung an den Platten und in der Säure statt. An den Platten bildet sich Bleisulfat, während die Schwefelsäure zum Teil aufgebraucht und Wasser neu gebildet wird; infolgedessen nimmt das spezifische Gewicht der Säure (die Säuredichte) ab. Die Spannung der Zelle geht im Laufe der Entladung zuerst langsam, dann schneller zurück; nach einem gewissen Spannungsabfall betrachtet man die Zelle als entladen.

Ladung. Soll die entladene Zelle wieder geladen werden, so muß ihr +-Pol mit dem +-Pol einer fremden Gleichstromquelle von höherer Spannung, ihr —-Pol mit dem —-Pol dieser Stromquelle verbunden werden. Es fließt dann ein Strom in umgekehrter Richtung als Ladestrom durch die Zelle. Durch die Ladung werden der ursprüngliche Zustand der Platten und die ursprüngliche Säuredichte wieder hergestellt. Gegen Ende der Ladung tritt an den Platten eine immer lebhafter werdende Gasentwicklung auf. An den positiven Platten bildet sich Sauerstoff, an den negativen Wasserstoff. Es wird nicht mehr der gesamte Ladestrom nutzbar in den Platten aufgespeichert, sondern ein immer wachsender Teil, schließlich der ganze Strom zur Wasserzersetzung verbraucht. Der Eintritt einer kräftigen Gasentwicklung an beiden Platten ist das

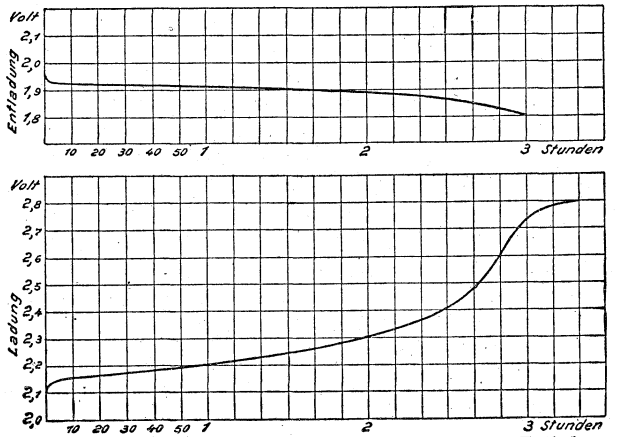


Bild 26. Spannungsverlauf einer Zelle bei dreistündiger Entladung und Ladung mit höchstzulässigem Ladestrom.

sicherste Zeichen für genügende Ladung. Der jeweilige Zustand der Ladung läßt sich außerdem auch an der Säuredichte erkennen, die mittels eines Aräometers gemessen werden kann. Die Gasentwicklung gegen Ende der Ladung bedingt natürlich eine Abnahme des Lösungswassers und damit eine Zunahme der Säuredichte, die durch Nachfüllen von Wasser wieder ausgeglichen werden muß.

Elektrische Größen des Bleiakkumulators.

Spannung. Eine geladene Zelle hat im stromlosen Zustande eine Spannung (Elektromotorische Kraft, E.M.K.) von etwa 2,05 V, gleich nach der Ladung etwa 2,10 V. Bei Entladung sinkt die Spannung sofort, je nach der Höhe des Entladestromes, auf 2,0—1,93 V, fällt dann zuerst langsamer bis auf 1,9 V, gegen Ende der Entladung schneller ab.

Als zulässige Entspannung gilt:

für langsame, d. h. für 3—10stündige Entladung 1,80—1,83 V,
für schnelle, d. h. für 1— 2stündige Entladung 1,75—1,78 V.

Bei der Ladung steigt die Spannung sofort auf etwa 2,15 V und nimmt dann, zuerst langsam, später schneller zu bis auf etwa 2,75—2,80 V. Die Gasentwicklung beginnt bei etwa 2,40 V. Bild 26 zeigt den Spannungsverlauf bei dreistündiger Entladung und Wiederladung mit höchstzulässigem Ladestrom.

Kapazität. Unter Kapazität versteht man diejenige Strommenge, die man einem geladenen Akkumulator entnehmen kann, bis die Endspannung erreicht ist. Sie wird durch das Produkt aus dem Entladestrom und der Entladezeit (Amperestunden = Ah) ausgedrückt. Die Kapazität ist abhängig von der Höhe des Entladestromes; je niedriger dieser, je länger also die Entladezeit, desto größer die Kapazität. Die Kapazität beträgt bei Entladung in

1	Stunde	70%
2	Stunden	89%
3	„	100%
5	„	115%
7½	„	126%
10	„	133%

der Kapazität bei dreistündiger Entladung. Gewährleistet wird nur eine bestimmte, und zwar die dem höchstzulässigen Entladestrom entsprechende Kapazität.

Ladestrom. Der höchstzulässige Ladestrom entspricht dem dreistündigen Entladestrom; gegen Ende der Ladung, wenn die Gasentwicklung stärker wird, soll der Ladestrom etwa auf die Hälfte verringert werden.

Wirkungsgrad. Das Verhältnis der bei voller Entladung erhaltenen zu der für volle Aufladung nötigen Strommenge in Amperestunden beträgt etwa 90%. Das Verhältnis der entsprechenden Energiemengen in Wattstunden ist der Wirkungsgrad des Akkumulators. Er beträgt bei drei- bis zehnstündiger Entladung etwa 75%, bei einstündiger 70%.

Bauart der ortsfesten Zellen.

Positive Platte. Die positive Platte ist in der Regel eine sogenannte Großoberflächenplatte, d. h. eine gegossene Weichbleiplatte, deren Gesamtoberfläche infolge geeigneter Formgebung (feinteilige Rippen- oder Gitterkonstruktion) das Achtbis Neunfache der linearen beträgt. Die wirksame Superoxydschicht wird bei der Herstellung der Platte durch elektrochemische Einwirkung (Formierung) aus dem Blei heraus erzeugt. Geliefert wird die Platte meist mit negativ geladener Schicht, die bei der ersten Ladung wieder in Superoxyd umgewandelt wird.

Negative Platte. Die negative Platte besitzt entweder die Form eines engmaschigen Gitters, in welches die wirksame Masse in Form einer Paste aus Bleiglätte und Schwefelsäure eingetragen wird (Gitterplatte), oder sie besteht aus einem weitmaschigen, quadratischen Hartbleigitter, das auf beiden Seiten von aufgegossenem,

fein durchlochtem Bleiblech bedeckt wird; die dadurch gebildeten Hohlräume dienen zur Aufnahme der Massekuchen (Kastenplatte). Bei der ersten Ladung wird die Masse der negativen Platten in Schwammblei verwandelt.

Plattensatz. Um die erforderliche Kapazität zu erhalten, werden die gleichartigen Platten zu mehreren nebeneinander angeordnet und durch Anlöten an eine Bleileiste zu einem Plattensatz vereinigt (Bild 27). Die positiven und negativen Platten werden abwechselnd mit einem Abstand von etwa 10 mm in das Gefäß eingehängt. Als Endplatten dienen negative Platten, die jedoch nur auf der nach innen gewandten Seite mit wirksamer Masse versehen werden (negative halbe oder Endplatten).

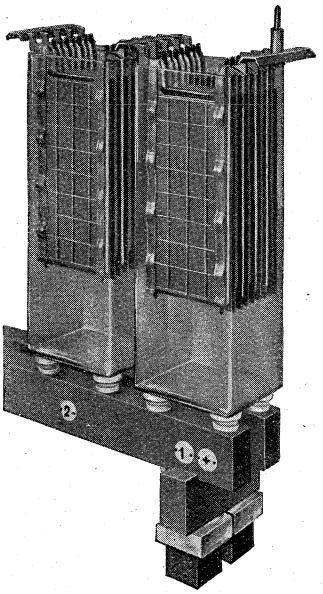


Bild 27.
Vereinigung der Platten zu einem Plattensatz und Herstellung der Zellenverbindung durch eine Bleileiste.

Gefäße. Die kleineren Zellen bis zu 500 Ah erhalten Glasgefäße. Doppelzellen, die durch Parallelschaltung zweier Zellen erhalten werden, erweitern die Verwendung von Glasgefäßen bis zur doppelten Kapazität. Von etwa 1000 Ah ab pflegt man mit Bleiblech ausgekleidete, säurebeständig gestrichene Holzkästen zu verwenden. Daneben sind auch Kästen aus Steinzeug oder Hartgummi gebräuchlich.

Einbau. Bei den Glasgefäßen hängen die Platten mit ihren Fahnen auf dem Gefäßrande, bei Holzkästen auf Glasstützscheiben deren Oberkante den Kastenrand etwas überragt. Über den Platten bleibt ein gewisser Nachfüllraum, unterhalb der Platten ein Raum für die Ablagerung der abfallenden Masse, zu beiden Seiten ein geringer Abstand für das Wachsen der positiven Platten. Zwischen den Platten werden in der Regel dünne Holzbrettchen angeordnet mit Hartgummistäben als Abstandssicherung. Vom Gefäß abgestützt wird der Plattensatz durch federnde Bleibügel, bei Holzkästen meist nur durch Holz- oder Hartgummistäbe. Die Zellen werden in der Regel mit Glasscheiben abgedeckt, um bei der Gasentwicklung verspritzende Säure aufzufangen.

Zellenverbindung. An der einen Plattenfahne befindet sich ein Ansatz zur Schweiß-Verbindung (sog. „Verlötung") der Platte mit der Bleileiste, die auch zur Hintereinanderschaltung benachbarter Zellen dient. Leitungen (z. B. die Gruppenverbindungs-, Zellenschalter- und Endleitungen) werden durch Einlöten in Bleipolschuhe angeschlossen, die sich in der Mitte der betreffenden Leisten befinden (Polschuhleisten, Bild 27). Bei sehr großen Zellen werden diese Leisten durch Kupfereinlagen verstärkt.

Soviel Zellen, wie für die Gebrauchsspannung nötig sind, werden zu einer Batterie hintereinandergeschaltet.

Isolierung. Die Zellen müssen von den Holzgestellen durch Porzellanisolatoren mit Weichbleischeiben als Zwischenlage getrennt werden.

Schwefelsäure. Die zur Füllung von Akkumulatoren erforderliche Schwefelsäure von 1,18 spez. Gew. muß entweder vom Lieferer des Akkumulators oder von einer durch diesen nachgewiesenen Stelle bezogen werden. Sie hat bestimmten Reinheitsvorschriften zu genügen, deren Erfüllung im Einzelfalle vor Verwendung der Säure durch chemische Prüfung festgestellt wird.

Akkumulatorenräume.

Akkumulatorenbatterien werden in besonderen Räumen aufgestellt, die nach den Vorschriften des VDE als „elektrische Betriebsräume" gelten.

Ein Akkumulatorenraum muß trocken und hell, gut gelüftet und gegen Eindringen von Staub und schädlichen Gasen geschützt sein. Starken Erschütterungen ausgesetzte Räume sind ungeeignet, auch sollen keine allzu großen Temperaturschwankungen auftreten. Heizanlagen sind in der Regel nicht erforderlich, künstliche Lüftung nur in seltenen Fällen. Fenster sind reichlich vorzusehen.

Zementputz der Wände ist nicht nötig, wenn gute Maschinenziegelsteine verwendet und mit Zement ausgefugt sind. An der Decke ist Zementputz wegen des Abbröckelns zu vermeiden.

Falls sich an den Akkumulatorenraum ein Raum anschließt, in dem sich eine Maschinen- oder Schaltanlage befindet, so dürfen beide Räume nicht durch eine Tür verbunden werden, damit die Maschinen und Schaltgeräte nicht durch die Säuredämpfe leiden.

Wände, Decken und Eisenteile werden am besten mit säurebeständigem, alkoholfreiem, hellem Emaillelack gestrichen, wobei eiserne Bauteile zuerst mit einem Mennigegrundanstrich zu versehen sind.

Außer der Allgemeinbeleuchtung sind Steckdosen in Gußgehäuse vorzusehen, damit man mit einer Handlampe sämtliche Zellen ableuchten kann. Für die Lichtleitungen sind nur blanke Leitungen von mindestens 4 mm² Querschnitt zu verwenden und auf Kellerrollen, PL Nr P50, zu verlegen. Für die Deckenleuchten sind nur Porzellankörper zu verwenden, die ebenso wie die Handlampen mit Schutzglas versehen sein müssen.

Besondere Sorgfalt ist auf die Herstellung eines genügend tragfähigen und säurefesten Fußbodens aus hart gebrannten Ziegeln oder einem Zementbelag zu verwenden. Die Fugen zwischen den Steinen werden mit Sand und darauf mit einem Gemisch von heißem Steinkohlenteer und reinem Trinidad-Asphalt ausgegossen.

Um Zement- und auch Holzfußböden gegen die Säureeinwirkung zu schützen, verwendet man einen heiß aufgetragenen Steinkohlenteer-Anstrich mit aufgestreutem reinem Quarzsand oder für Zementfußböden auch einen Belag von bestem Trinidad-Asphalt. Um das Einsinken der Gestelle in den Asphalt zu verhindern, legt man säurebeständige, hartgesinterte Tonplatten in die Asphaltschicht ein. Hierauf werden die Gestellunterlagen gesetzt, die das ganze Batteriegewicht unmittelbar auf den zementierten Untergrund übertragen.

Auch Pflasterung mit säurebeständigen, hartgesinterten Tonplatten ist zu empfehlen.

Ausführliche Vorschriften für die Herstellung des Batterieraumes und insbesondere des Fußbodens stehen zur Verfügung.

Aufstellung von Akkumulatorenbatterien.

Die Möglichkeit, eine Batterie beliebig zu unterteilen, gestattet ihre Anpassung an die verschiedensten Raumverhältnisse. Batterien in Einzelglasgefäßen dürfen bei Raummangel auch in zwei Reihen übereinander, auf sogenannten Etagengestellen (Bild 29) und auf Stufengestellen (Bild 30), stehen. Besser und bei größeren Zellen allein zulässig ist die Bodenaufstellung (Bild 28).

Holzgestelle. Die Holzgestelle werden aus harzreichem, lufttrockenem und möglichst astfreiem Pitchpine- oder Kiefernholz ohne Verwendung von Eisen angefertigt und mit Leinöl, Teer, Asphaltlack usw. getränkt. Die verschiedenen Gestellarten zeigen Bild 28—30.

Vom Boden werden die Gestelle meist durch quadratische Glasuntersätze mit Abtropfkante isoliert, die auf Holzklötzen aufliegen. Diese Isolierung genügt bis 750 V.

Bei Spannungen von 750 bis 1500 V ist einfache, von 1500 V ab doppelte Hochspannungsisolierung nötig.

Aufstellung. Sämtliche Zellen müssen wenigstens von einer Seite, die größeren

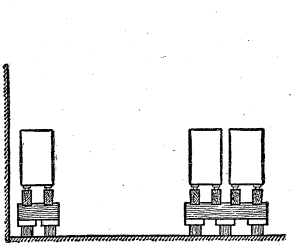


Bild 28.
Bodengestelle.

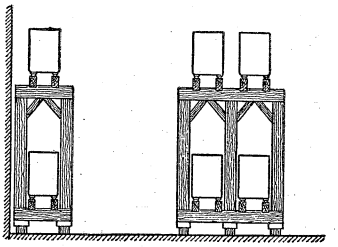


Bild 29.
Etagengestelle (Anordnung von zwei Reihen übereinander).

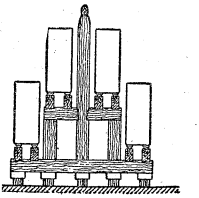


Bild 30. Stufengestelle (Anordnung von zwei Reihen nebeneinander).

Holzkastenzellen und auch die größeren Doppel-Glasgefäßzellen von beiden Seiten frei zugänglich sein. Die Bedienungsgänge sollen wenigstens 75 cm breit sein.

Jede Batterie ist so anzuordnen, daß bei der Bedienung Punkte, zwischen denen eine Spannung von mehr als 250 V herrscht, nicht zufällig gleichzeitig berührt werden können.

Bei Spannungen über 250 V gegen Erde (bei Akkumulatoren ist die **Entladespannung** maßgebend) muß die Batterie von einem isolierenden Bedienungsgang (Laufboden)

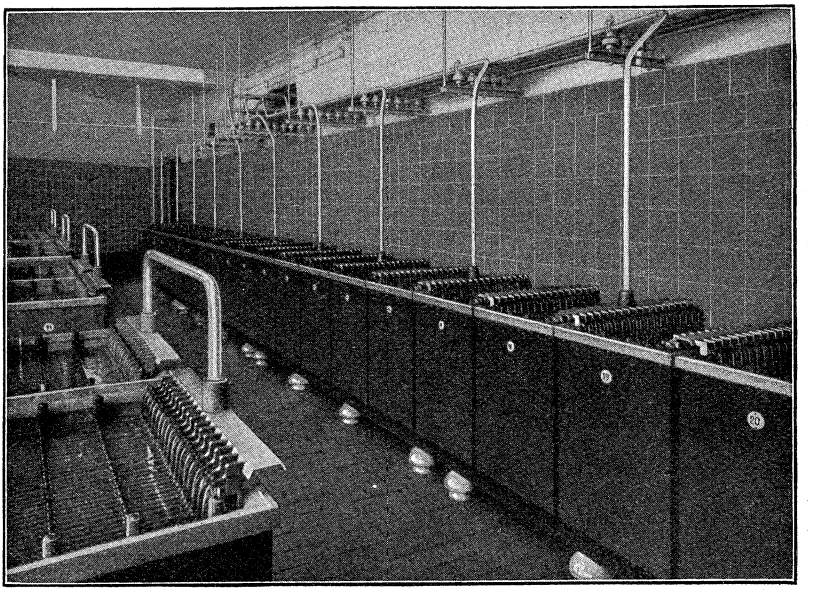


Bild 31. Akkumulatorenbatterie in Holzkästen mittlerer Größe auf Bodengestellen.

umgeben sein. Hohe Holzkastenzellen erhalten zur Erleichterung der Bedienung eine (bei Spannungen über 250 V gegen Erde isolierte) Laufbühne.

Die einzelnen Gruppen einer Batterie werden durch Kupferleitungen (Gruppenverbindungen) hintereinander geschaltet.

Einen Anhalt für Gewicht und Raumbedarf einer Batterie gibt folgende Tafel:

für 1 kW 3stündiger Leistung	kleine Zellen in Glasgefäßen	mittlere Zellen (in Holzkästen)	große Zellen (in Holzkästen)
Gewicht kg	500	450	425
Bodenfläche m²	2—1	0,7	0,4

Bild 31 zeigt eine Batterie in Holzkästen mittlerer Größe.

Zubehör. Außer den Holzgestellen, Laufböden und Laufbühnen sind folgende Zubehörteile nach Bedarf erforderlich:

ein Satz Überbrückungsklemmen zur Ausschaltung einzelner Zellen (z. B. bei Gefäßbruch),
einige Säuremesser zur Prüfung des Säurestandes,
Reagenzien zur chemischen Untersuchung der Nachfüllflüssigkeiten,
eine Handlampe mit der nötigen, gegen Säure geschützten Anschlußleitung und den erforderlichen Steckdosen zur Überwachung der Zellen,
ein Kurzschlußfinder (Magnetnadel) zur Aufsuchung von Kurzschlüssen zwischen den Platten,
ein Glaskrug zum Nachfüllen der Zellen,
ein Säurebottich zum Aufbewahren der Nachfüllsäure.

Statt des Säurebottichs wird auch mitunter ein Ballonkipper benutzt. Für hohe Etagengestelle ist ein Wartungstritt nötig.

Zellenschalterleitungen.

Es ist auf möglichst kurze Zellenschalterleitungen Wert zu legen. Jede unnötige Verlängerung derselben bedeutet sowohl eine Verteuerung der Anlage als auch wegen des höheren Spannungsabfalles eine Verschlechterung des Wirkungsgrades. Man legt daher den Batterieraum tunlichst neben den Maschinenraum und stellt die Schaltzellen an der Trennwand beider Räume oder in deren Nähe auf. Bei kleineren Anlagen, in denen der Zellenschalter stets von Hand bedient wird und auf der Schalttafel angeordnet ist, wird man außerdem die Tafel an der erwähnten Trennwand aufstellen. Die Batterie wird aber auch vielfach im Keller unterhalb des Maschinenraumes aufgestellt; dann sind die Schaltzellen unmittelbar unter der Schalttafel anzuordnen.

In größeren Anlagen wird es jedoch nicht immer möglich sein, die Entfernung zwischen Schalttafel und Schaltzellen auf das geringste Maß zu bringen. Da in diesen Fällen gewöhnlich ein selbsttätiger Zellenschalter verwendet wird, baut man diesen von der Schalttafel getrennt in der Nähe der Batterie auf einem besonderen Eisengerüst auf.

Der Querschnitt der Zellenschalterleitungen muß hinsichtlich der Erwärmung der unter „Bemessung der Leitungen" angegebenen Belastungstafel für isolierte Kupfer- bzw. Aluminiumleitungen genügen und für die höchste Entladestromstärke bemessen sein. Der Spannungsabfall in den längsten Leitungen soll hierbei höchstens 0,5% betragen.

Die Verlegung der Zellenschalterleitungen erfolgt im Maschinenraum entweder als blankes Rund- oder Flachkupfer bzw. -Aluminium auf Isolatoren oder als Draht mit Gummiaderisolation auf Porzellanrollen oder in Isolierrohr mit Metallmantel. Bei der letzteren Verlegungsart können je nach dem Querschnitt 2 bis 3 Leitungen

in einem Rohre angeordnet werden. In dem Batterieraum sind nur blanke, massive runde oder flache Leitungen zu verwenden, welche entweder mit säurefestem Lackanstrich zu versehen oder mit Öl, konsistentem Fett, Vaseline und dergleichen einzufetten sind. Das Einfetten muß an den Stellen, welche der Säurewirkung besonders ausgesetzt sind, etwa alle 4 bis 6 Wochen wiederholt werden.

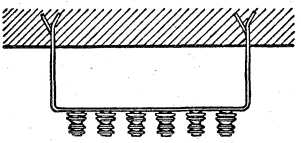


Bild 32. Flacheisenbügel für Leitungen mit rundem Querschnitt.

Die Leitungen im Batterieraum werden, soweit es sich um runde Querschnitte handelt, auf Porzellanrollen mit großer Oberfläche (Kellerrollen) verlegt, welche in niedrigen Räumen unmittelbar an der Decke befestigt werden. Zweckmäßiger ist jedoch die Anordnung der Rollen auf Flacheisenbügeln, z. B. nach Bild 32, bei denen wesentlich weniger Befestigungslöcher in der Decke erforderlich sind. Für Querschnitte bis 35 mm² sind Kellerrollen, PLNr P 50, bis 95 mm² PL Nr P51 und bis 150 mm² PL Nr P52 zu verwenden. Die Rollen werden auch vielfach in zwei Reihen übereinander auf einem Bügel angeordnet. Für Schienen werden ähnliche Bauarten verwendet. Der Flacheisenbügel nach Bild 33 gestattet eine bequeme Verschiebung der Isolatoren in seitlicher Richtung, so daß eine schnurgerade Verlegung der Schienen möglich ist.

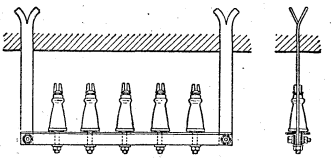


Bild 33. Flacheisenbügel mit Isolation für Verlegung von Schienen.

Da Maschinen und Geräte unter der Einwirkung von Säuredämpfen leiden, müssen die Wanddurchführungen sorgfältig abgedichtet werden. Bild 34 zeigt eine gebräuchliche Art der Ausführung. Eine gute Abdichtung läßt sich für Rundkupfer dadurch erzielen, daß für jede Leitung eine Porzellantülle in eine Schiefer- oder Marmortafel eingesetzt und der Zwischenraum zwischen der Tülle und der durchgeführten Leitung mit Glaserkitt sorgfältig ausgefüllt wird. Sehr zweckmäßig sind auch Durchführungen, die für jede Leitung auf beiden Seiten der Tafel je eine konzentrische Anschlußklemme tragen. Die beiden Klemmen jeder Leitung werden durch einen in die Tafel gut eingepaßten massiven Gewindenippel fest miteinander verschraubt. Jede Klemme erhält eine Bleiunterlagscheibe. Für Drähte von 6 mm Durchmesser sind Klemmen PL Nr 404061, von 10 mm PL Nr 404062, von 16 mm PL Nr 404068 und von 20 mm PL Nr 404064 zu verwenden.

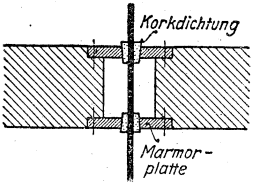


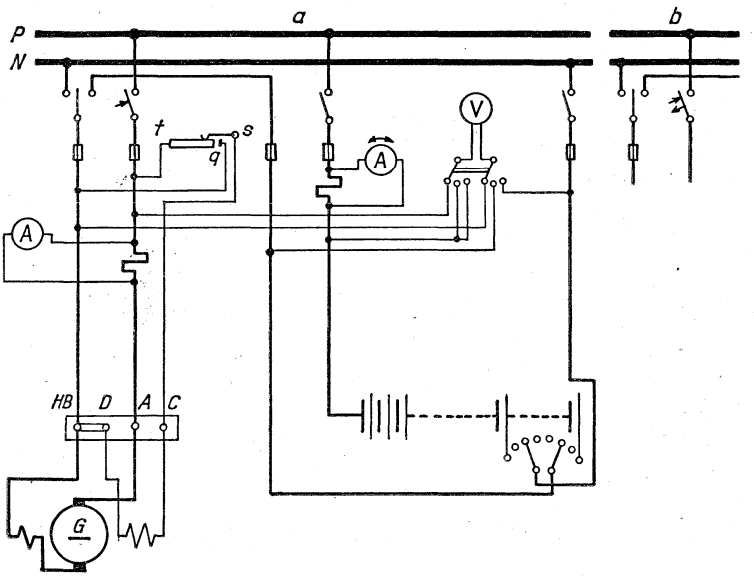
Bild 34. Wanddurchführung für Drähte über 6 mm² sowie für Flach- u. Rundleitungen.

Schaltungen.

Zur Aufladung von Akkumulatoren dienen Gleichstrommaschinen, Umformer oder Gleichrichter; kleine Batterien werden häufig auch vom Netzanschluß mit Vorschaltwiderstand geladen.

Bei Lichtbatterien wird die Zellenzahl nach der Spannung am Ende der Entladung berechnet. Als zulässige Endspannung je Zelle gilt 1,83 V. Für 110 V sind daher z. B. $\frac{110}{1{,}83} = 60$ Zellen nötig, für 220 V 120 Zellen usw. Die Entladespannung wird mittels eines Zellenschalters geregelt. Da die Spannung der geladenen Zelle mit etwa 2,10 V einsetzt, so beträgt sie bei 60 Zellen zunächst 126 V. Bei einem 110-V-Netz muß daher die Überspannung von 16 V beseitigt werden, was durch Abschaltung von $\frac{16}{2{,}1} = 8$ Zellen geschieht. Bei einer Regelung der Batteriespannung um je etwa 2 V sind hierzu 8 Stufen nötig, entsprechend 9 Kontakten des Zellenschalters.

(Einfachzellenschalter). Bei einem 220-V-Netz pflegt man zwischen 2 Kontakte des Zellenschalters 2 Zellen zu legen. Während der Ladung werden die vorher weniger entladenen Schaltzellen nach und nach abgeschaltet.



Erforderlich:

a) 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Spannungsmesser-Umschalter
1 Strommesser
1 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
1 einpoliger Rückstrom-Ausschalter
1 einpoliger Hebelumschalter
2 einpolige Hebelschalter
5 einpolige Sicherungen (bis etwa 300 A)
1 Doppelzellenschalter
1 Akkumulatorenbatterie
b) an Stelle von: 1 einpol. Rückstrom-Ausschalter, 1 einpoligen Sicherung ist erforderlich: 1 einpoliger Überstrom- und Rückstrom-Ausschalter

Bild 35. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Zweileiter-Generator mit Akkumulatorenbatterie. Ladung in einer Reihe durch Spannungssteigerung.

Soll die Batterie auch während der Ladung Strom ins Netz geben, so müssen am Ende der Ladung, wenn die Zellenspannung auf 2,75 V gestiegen ist, bei einem 110-V-Netz $60 - \frac{110}{2{,}75} = 20$ Zellen, also ein Drittel der Gesamtzahl, abgeschaltet sein. Der Zellenschalter muß also 21 Kontakte haben. Für die Einstellung der Ladespannung erhält er einen besonderen Hebel (oder Schlitten), er wird dadurch zu einem Doppelzellenschalter mit getrenntem Lade- und Entladehebel.

Die Zahl der Zellenschalter-Kontakte und -Leitungen kann verringert werden durch Anordnung von Hilfs- oder Sparzellen, die während der Bewegung des Zellenschalters zwangläufig durch einen besonderen Schalter ab- und zugeschaltet werden. Die Hilfszellen sind Stammzellen der Batterie. Zwischen 2 Kontakte wird die doppelte Zellenzahl gelegt und die Feinstufigkeit durch den Hilfsschalter erzielt.

Größere Zellenschalter werden mit motorischem Antrieb der Schlitten (meist nur auf der Entladeseite) für Selbst- oder Fernbetätigung ausgestattet.

in einem Rohre angeordnet werden. In dem Batterieraum sind nur blanke, massive runde oder flache Leitungen zu verwenden, welche entweder mit säurefestem Lackanstrich zu versehen oder mit Öl, konsistentem Fett, Vaseline und dergleichen einzufetten sind. Das Einfetten muß an den Stellen, welche der Säurewirkung besonders ausgesetzt sind, etwa alle 4 bis 6 Wochen wiederholt werden.

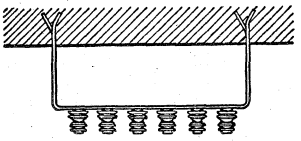


Bild 32. Flacheisenbügel für Leitungen mit rundem Querschnitt.

Die Leitungen im Batterieraum werden, soweit es sich um runde Querschnitte handelt, auf Porzellanrollen mit großer Oberfläche (Kellerrollen) verlegt, welche in niedrigen Räumen unmittelbar an der Decke befestigt werden. Zweckmäßiger ist jedoch die Anordnung der Rollen auf Flacheisenbügeln, z. B. nach Bild 32, bei denen wesentlich weniger Befestigungslöcher in der Decke erforderlich sind. Für Querschnitte bis 35 mm² sind Kellerrollen, PLNr P 50, bis 95 mm² PL Nr P51 und bis 150 mm² PL Nr P52 zu verwenden. Die Rollen werden auch vielfach in zwei Reihen übereinander auf einem Bügel angeordnet. Für Schienen werden ähnliche Bauarten verwendet. Der Flacheisenbügel nach Bild 33 gestattet eine bequeme Verschiebung der Isolatoren in seitlicher Richtung, so daß eine schnurgerade Verlegung der Schienen möglich ist.

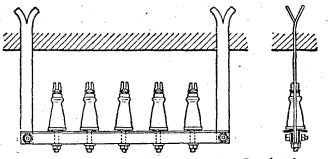


Bild 33. Flacheisenbügel mit Isolation für Verlegung von Schienen.

Da Maschinen und Geräte unter der Einwirkung von Säuredämpfen leiden, müssen die Wanddurchführungen sorgfältig abgedichtet werden. Bild 34 zeigt eine gebräuchliche Art der Ausführung. Eine gute Abdichtung läßt sich für Rundkupfer dadurch erzielen, daß für jede Leitung eine Porzellantülle in eine Schiefer- oder Marmortafel eingesetzt und der Zwischenraum zwischen der Tülle und der durchgeführten Leitung mit Glaserkitt sorgfältig ausgefüllt wird. Sehr zweckmäßig sind auch Durchführungen, die für jede Leitung auf beiden Seiten der Tafel je eine konzentrische Anschlußklemme tragen. Die beiden Klemmen jeder Leitung werden durch einen in die Tafel gut eingepaßten massiven Gewindenippel fest miteinander verschraubt. Jede Klemme erhält eine Bleiunterlagscheibe. Für Drähte von 6 mm Durchmesser sind Klemmen PL Nr 404061, von 10 mm PL Nr 404062, von 16 mm PL Nr 404068 und von 20 mm PL Nr 404064 zu verwenden.

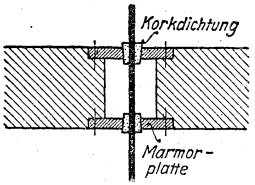


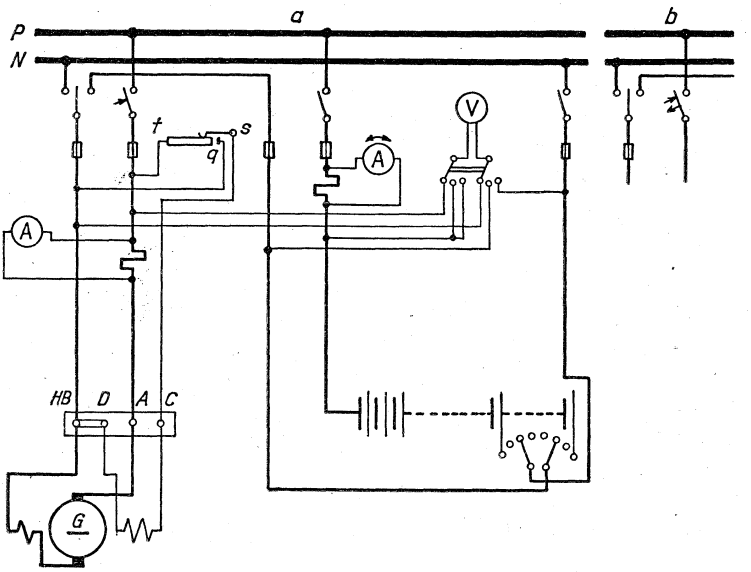
Bild 34. Wanddurchführung für Drähte über 6 mm² sowie für Flach- u. Rundleitungen.

Schaltungen.

Zur Aufladung von Akkumulatoren dienen Gleichstrommaschinen, Umformer oder Gleichrichter; kleine Batterien werden häufig auch vom Netzanschluß mit Vorschaltwiderstand geladen.

Bei Lichtbatterien wird die Zellenzahl nach der Spannung am Ende der Entladung berechnet. Als zulässige Endspannung je Zelle gilt 1,83 V. Für 110 V sind daher z. B. $\frac{110}{1{,}83} = 60$ Zellen nötig, für 220 V 120 Zellen usw. Die Entladespannung wird mittels eines Zellenschalters geregelt. Da die Spannung der geladenen Zelle mit etwa 2,10 V einsetzt, so beträgt sie bei 60 Zellen zunächst 126 V. Bei einem 110-V-Netz muß daher die Überspannung von 16 V beseitigt werden, was durch Abschaltung von $\frac{16}{2{,}1} = 8$ Zellen geschieht. Bei einer Regelung der Batteriespannung um je etwa 2 V sind hierzu 8 Stufen nötig, entsprechend 9 Kontakten des Zellenschalters.

(Einfachzellenschalter). Bei einem 220-V-Netz pflegt man zwischen 2 Kontakte des Zellenschalters 2 Zellen zu legen. Während der Ladung werden die vorher weniger entladenen Schaltzellen nach und nach abgeschaltet.



Erforderlich:

a) 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Spannungsmesser-Umschalter
1 Strommesser
1 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
1 einpoliger Rückstrom-Ausschalter
1 einpoliger Hebelumschalter
2 einpolige Hebelschalter
5 einpolige Sicherungen (bis etwa 300 A)
1 Doppelzellenschalter
1 Akkumulatorenbatterie

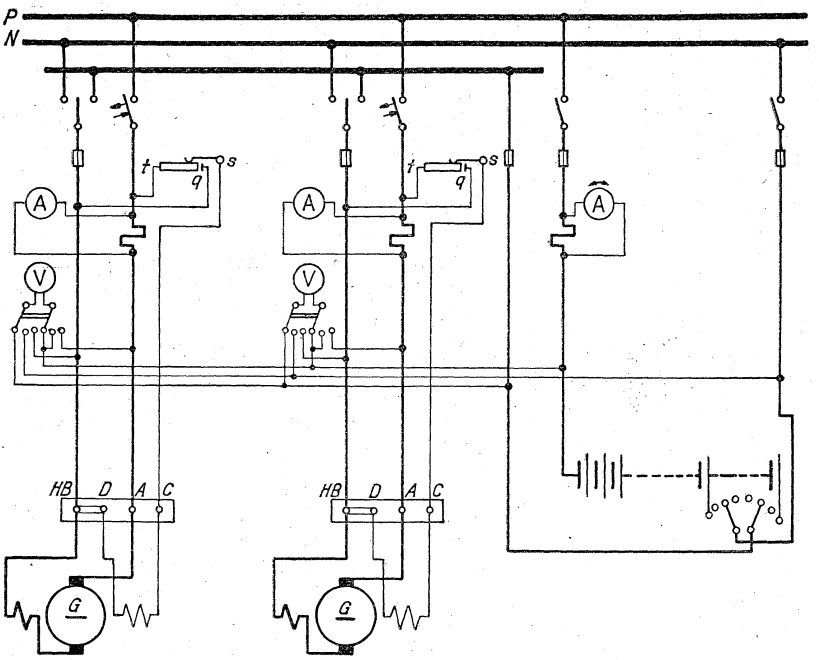
b) an Stelle von: 1 einpol. Rückstrom-Ausschalter, 1 einpoligen Sicherung ist erforderlich: 1 einpoliger Überstrom- und Rückstrom-Ausschalter

Bild 35. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Zweileiter-Generator mit Akkumulatorenbatterie. Ladung in einer Reihe durch Spannungssteigerung.

Soll die Batterie auch während der Ladung Strom ins Netz geben, so müssen am Ende der Ladung, wenn die Zellenspannung auf 2,75 V gestiegen ist, bei einem 110-V-Netz $60 - \frac{110}{2{,}75} = 20$ Zellen, also ein Drittel der Gesamtzahl, abgeschaltet sein. Der Zellenschalter muß also 21 Kontakte haben. Für die Einstellung der Ladespannung erhält er einen besonderen Hebel (oder Schlitten), er wird dadurch zu einem Doppelzellenschalter mit getrenntem Lade- und Entladehebel.

Die Zahl der Zellenschalter-Kontakte und -Leitungen kann verringert werden durch Anordnung von Hilfs- oder Sparzellen, die während der Bewegung des Zellenschalters zwangläufig durch einen besonderen Schalter ab- und zugeschaltet werden. Die Hilfszellen sind Stammzellen der Batterie. Zwischen 2 Kontakte wird die doppelte Zellenzahl gelegt und die Feinstufigkeit durch den Hilfsschalter erzielt.

Größere Zellenschalter werden mit motorischem Antrieb der Schlitten (meist nur auf der Entladeseite) für Selbst- oder Fernbetätigung ausgestattet.

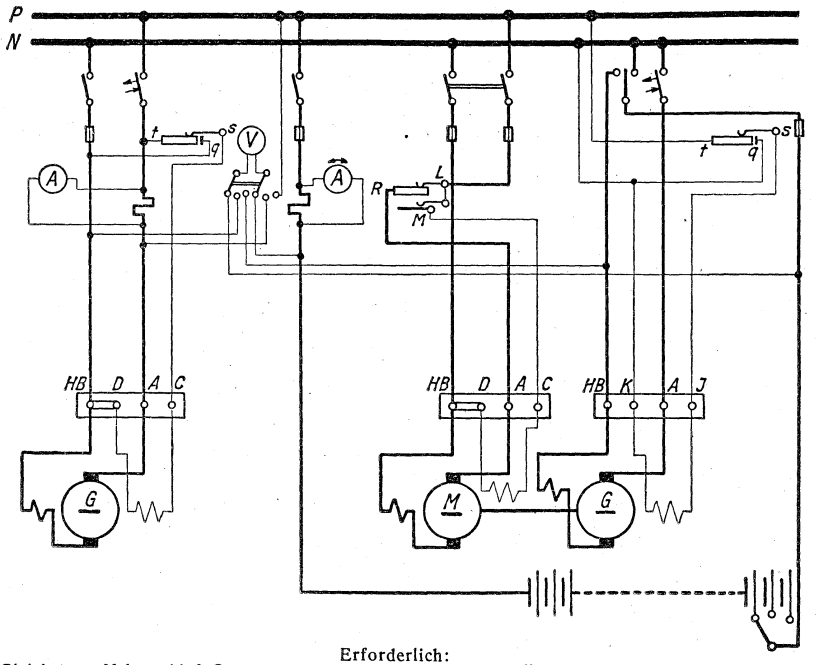


Erforderlich:

2 Gleichstrom-Nebenschluß-Generatoren
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
2 Spannungsmesser-Umschalter
2 Strommesser
1 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
5 einpolige Sicherungen
2 einpolige Überstrom- und Rückstrom-Ausschalter (bis etwa 300 A ersetzbar durch: 2 einpolige Rückstrom-Ausschalter und 2 einpolige Sicherungen)
2 einpolige Hebelumschalter
2 einpolige Hebelschalter
1 Doppelzellenschalter
1 Akkumulatorenbatterie

Bild 36. Schaltplan für 2 parallel arbeitende Gleichstrom-Zweileiter-Generatoren mit Akkumulatorenbatterie. Ladung durch Spannungssteigerung.

Die höchste Ladespannung einer Batterie für ein 110-V-Netz beträgt etwa 160 V, für ein 220-V-Netz etwa 320 V, liegt also etwa 45% über der Netzspannung. Die Spannung der Ladestromquelle muß also entsprechend erhöht werden können. Durch Verstärkung des Feldes oder Steigerung der Drehzahl wird diese Erhöhung beim Generator selbst erreicht. Gebräuchlicher ist jedoch, den Generator von vornherein für die höchste Ladespannung zu bauen und diese für den normalen Betrieb mittels eines Nebenschlußreglers mit besonders hohem Widerstand zu erniedrigen. Für diese Generatoren muß daher gewöhnlich der nächstgrößere Nebenschlußregler gewählt werden. Hierdurch wird die einfachste Form der Parallelschaltung von Generator und Batterie mittels eines Einfachzellenschalters ermöglicht. Diese Schaltung hat jedoch den Nachteil, daß während der Ladung eine Speisung des Netzes nicht möglich ist. Die gebräuchlichste Schaltung zeigt Bild 35, welche infolge Verwendung eines Doppelzellenschalters auch während der Ladung die Abgabe kleinerer Stromstärken und bei Verwendung von zwei Generatoren (Bild 36) entsprechend größerer Stromstärken an das Netz gestattet.



Erforderlich:

1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Zusatzaggregat,
1 Nebenschlußregler, Form Z, für Fremderregung
1 Anlasser
1 Spannungsmesser mit 1 Umschalter
1 Strommesser
1 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
5 einpolige Sicherungen
2 einpolige Überstrom- und Rückstrom-Ausschalter (bis etwa 300 A ersetzbar durch: 2 einpolige Rückstrom-Ausschalter und 2 einpolige Sicherungen)
2 einpolige Hebelschalter
1 zweipoliger Hebelschalter
1 einpoliger Hebelumschalter
1 Einfachzellenschalter
1 Akkumulatorenbatterie

Bild 37. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Zweileiter-Generator mit Akkumulatorenbatterie. Ladung durch Zusatzaggregat.

Reicht die Generatorspannung nicht aus, um die Batterie in einer Reihe vollzuladen, oder ist die Batterie klein im Vergleich zur Maschine, oder will man während der Ladung eine größere Strommenge im Verbrauchsnetz zur Verfügung haben, so kann man eine Zusatzmaschine für die Ladung verwenden. Die Schaltung Bild 37 ist dann so ausgeführt, daß die Hauptmaschine dauernd unmittelbar auf das Netz arbeitet, während die Zusatzmaschine die für die Ladung mehr erforderliche Spannung liefert. Ein Doppelzellenschalter ist nur dann erforderlich, wenn die Batterie jeden Augenblick zur Stromlieferung bereit, also ständig an das Netz angeschlossen sein muß. Die Zusatzmaschine muß bei 110 V Netzspannung eine Spannung von etwa 10 bis 55 V liefern. In der Regel erhält sie besonderen elektromotorischen Antrieb, da sie nur stundenweise gebraucht wird. Näheres über Zusatzmaschinen siehe unter „Umformer".

Für Dreileiternetze finden die beschriebenen Schaltungen sinngemäße Anwendung. Die Batterie hat hier noch eine besondere Bedeutung als Spannungsteiler. Gewöhnlich wird mit Zusatzmaschinensätzen gearbeitet, und diese werden bei der Ladung oft auch für den Ausgleich verschieden stark belasteter Netzhälften und ferner für die Nachladung einer etwa zurückgebliebenen Batteriehälfte verwendet.

Zum Aufladen von Batterien mit unveränderlicher Zellenzahl, wie sie z. B. für Zugbeleuchtung, Elektrofahrzeuge, Triebwagen, Fernmeldeanlagen, Notbeleuchtung usw. gebraucht werden, verwendet man vielfach das vorhandene Gleichstromnetz mit fester Spannung, da die Anschaffung eines besonderen Ladesatzes mit regelbarer Spannung zu kostspielig sein würde. Die Ladung der Batterie erfolgt über einen festen Ladewiderstand, der die Anfangsladespannung auf den erforderlichen Wert herabsetzt.

Wird eine unbeaufsichtigte Ladung gefordert, etwa wegen Mangels an Bedienung oder für Ladung während der Nachtzeit, so ist die Verwendung eines selbsttätigen Ladeschalters System Pöhler zu empfehlen, der sich in einfachster Weise auch in jede bestehende Ladeeinrichtung einbauen läßt. Bild 38 zeigt eine der gebräuchlichsten Schaltungen.

Der Pöhler-Schalter besteht im wesentlichen aus einem Ausschalter, einem Relais und einer Uhr, die für eine bestimmte Laufzeit, je nach den Betriebsverhältnissen und der betreffenden Zellenart, bei Inbetriebsetzung einmalig eingestellt werden muß. Die Uhr ist für eine Laufzeit von ½ bis 6 Stunden mit ½stündigen Abständen einstellbar. Durch eine mechanische Sperrvorrichtung wird verhindert, daß das Einschalten des Pöhler-Schalters vor dem Aufziehen der Uhr vorgenommen werden kann.

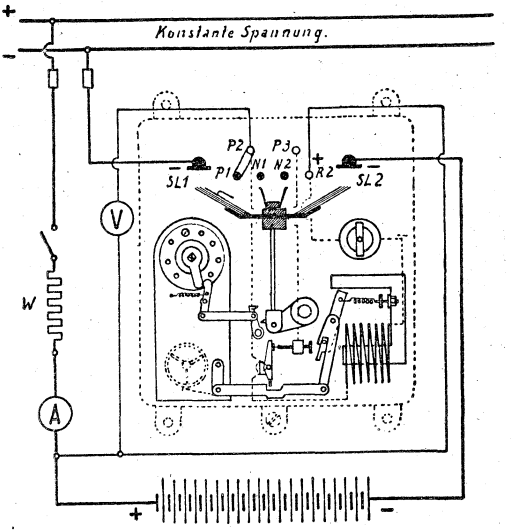


Bild 38. Schaltplan für die selbsttätige Ladung einer Batterie mittels Pöhler-Schalter für Stromstärken bis 60 A.

Die Wirkungsweise des Pöhler-Schalters beruht auf folgenden Eigenschaften der Bleiakkumulatoren:

1. Eine Bleiakkumulatorenzelle benötigt von 2,4 V ab bis zur völligen Aufladung eine von der vorherigen Entladung fast unabhängige Strommenge, also bei gleicher Stromstärke eine immer gleichbleibende Restladezeit.

2. Die Ladespannung steigt bei Beginn der Gasentwicklung, also von etwa 2,4 V an, sehr schnell auf 2,6 V und darüber.

Diesen steilen Anstieg benutzt man, um durch ein Relais, das bei etwa 2,4 V anspricht, ein Uhrwerk in Gang zu setzen. Durch dieses wird nach Ablauf der eingestellten Restladezeit ein Ausschalter ausgelöst und damit der Ladestrom unterbrochen.

Das Inbetriebsetzen des Pöhler-Schalters geschieht dadurch, daß die Batterie über den Ladewiderstand W angeschlossen, das Uhrwerk aufgezogen und dann der Ladeschalter SL1/SL2 eingeschaltet wird. Erst jetzt wird der einpolige Schalter des Ladewiderstandes eingeschaltet und damit der Ladestromkreis geschlossen. Die Ladespannung der Batterie kann an dem an die Klemme P^2 und den +-Pol der Batterie angeschlossenen Spannungsmesser beobachtet werden. Durch die beiden Nebenkontakte N_1 und N_2 des Pöhler-Schalters kann z. B. in Drehstromanlagen gleichzeitig mit dem Abschalten der Batterie der Selbstschalter (Unterspannungsschalter, Rückstromschalter usw.) des Generators oder des Gleichrichters ausgelöst werden.

Die Pöhler-Schalter werden für Stromstärken von 60 und 150 A hergestellt. Sie können für die Ladung mehrerer Batterien gleicher oder verschiedener Zellenzahl,

in Reihe oder parallel, sowie für alle Plattenarten unter den verschiedensten Betriebsverhältnissen verwendet werden.

Parallelschalten von Generatoren mit Akkumulatorenbatterien.

Für einen Parallelbetrieb mit Akkumulatorenbatterien ist der Nebenschlußgenerator infolge seiner einfachen Bedienung und Spannungsregelung am besten geeignet.

Das Parallelschalten einer Batterie mit einem auf die Sammelschienen arbeitenden Generator erfolgt, indem die Batteriespannung durch Verstellen des Zellenschalters auf gleiche Höhe mit der Sammelschienenspannung gebracht und dann der Batteriehebelschalter eingeschaltet wird. Durch Verstellen des Nebenschlußreglers und gegebenenfalls auch des Zellenschalters wird dann die Lastverteilung vorgenommen. Man wird zweckmäßig die Batterie wenig belasten, damit sie beim Stillsetzen des Generators in möglichst geladenem Zustande die Stromlieferung übernehmen kann.

Falls ein Doppelschlußgenerator zur Ladung von Batterien benutzt werden soll, so muß die Reihenschlußwicklung abschaltbar sein, damit die Klemmenspannung nicht mehr durch den Hauptstrom beeinflußt wird, sondern die erforderliche Spannungssteigerung lediglich durch den Nebenschlußregler erfolgen kann. Das bedingt aber für den Generator insofern eine Sonderausführung, als die Nebenschlußwicklung bei abgeschalteter Reihenschlußwicklung allein imstande sein muß, das für die normale Klemmenspannung erforderliche magnetische Feld zu erzeugen. Während der Ladung muß die Reihenschlußwicklung eines mit der Batterie etwa parallel arbeitenden zweiten Generators von der Ausgleichschiene abgeschaltet werden.

Über das Parallelschalten von Nebenschluß- und Doppelschlußgeneratoren siehe unter „Gleichstromanlagen ohne Akkumulatorenbatterie".

V. Drehstromanlagen.

Schaltungen.

Für die Erzeugung von Drehstrom werden Generatoren benutzt, bei denen im Gegensatz zu den Gleichstrommaschinen der den Drehstrom erzeugende Anker feststeht, während das Magnetfeld in demselben umläuft. Der Erregerstrom kann einer fremden Gleichstromquelle entnommen werden; er wird jedoch gewöhnlich von einer mit dem Generator gekuppelten Erregermaschine erzeugt und dem Magnetfeld durch zwei Schleifringe zugeführt. Die Spannungsregelung geschieht in einfachster Weise durch den Nebenschlußregler der Erregermaschine, durch den der Erregerstrom des Drehstromgenerators eingestellt wird. Bei Fremderregung und bei Generatoren mit Selbsterregung tritt an Stelle des Nebenschlußreglers ein Magnetregler. Als Erregerspannung werden gewöhnlich 65 oder 110 V, bei langsamlaufenden Maschinen 220 V gewählt.

Drehstromgeneratoren lassen sich auch nach Art der Gleichstromgeneratoren mit feststehendem Polgehäuse und Selbsterregung bauen. Bei diesen wird die Erregerspannung durch eine auf dem umlaufenden Anker untergebrachte Gleichstromwicklung erzeugt und mittels eines kleinen Kollektors der feststehenden Magnetwicklung zugeführt. Der Anker enthält ferner die Drehstromwicklung, von der der Drehstrom über vier Schleifringe entnommen wird. Diese Maschinen werden jedoch nur für kleine Leistungen ausgeführt.

Die Schaltung von zwei parallelarbeitenden Drehstromgeneratoren für Niederspannung zeigt Bild 39 und für Hochspannung Bild 40. Der Unterschied zwischen beiden Schaltungen besteht darin, daß bei Hochspannung die Meßgeräte nur unter Verwendung von Strom- und Spannungswandlern angeschlossen werden dürfen, um die Hochspannung von ihnen fernzuhalten. Außerdem sind für die Generatoren

statt der Niederspannungsschalter Trenn- und Ölschalter für Hochspannung erforderlich.

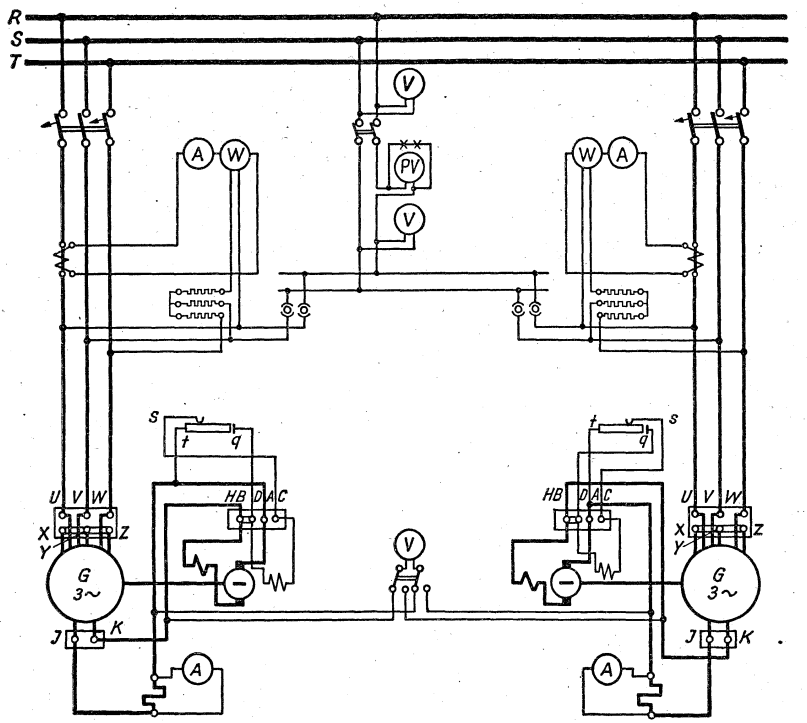


Bild 39. Parallelarbeitende Drehstrom-Synchrongeneratoren für Niederspannung.

Erforderlich:

2 Synchrongeneratoren
2 Erregermaschinen
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
1 Phasenvoltmeter mit Phasenlampen
2 Strommesser
2 Leistungsmesser (bei ungleich belasteten Phasen sind Leistungsmesser für „beliebig" belastete Phasen und ein zweiter Stromwandler erforderlich)
2 Nullpunktwiderstände
2 Stromwandler
2 zweipolige Steckvorrichtungen mit 1 Stecker
1 zweipoliger Schalter, 6 A
2 dreipolige Überstromschalter
1 Spannungsmesser für die Erregung
1 Spannungsmesser-Umschalter f. d. Erregung
2 Strommesser für die Erregung

Bei der Verlegung der Maschinenleitungen ist zu beachten, daß nur phasengleiche Leitungen der Maschinen durch die Sammelschienen miteinander verbunden werden, da die Phasenfolge, d. h. der elektrische Drehsinn sämtlicher parallelarbeitenden Maschinen, gleich sein muß. Vor der ersten Inbetriebsetzung ist daher die Schaltung mit einem Drehfeldrichtungsanzeiger oder in der Weise zu prüfen, daß man die Maschinen einzeln auf die Sammelschienen schaltet und jeweils einen kleinen Drehstrommotor anlaufen läßt. Bei gleicher Phasenfolge läuft dann der Motor stets im gleichen Drehsinn.

Parallelschalten von Drehstromgeneratoren.

Das Parallelschalten von Generatoren ist bei Drehstrom nicht auf so einfache Weise möglich wie bei Gleichstrom. Für jeden Generator ist eine besondere Antriebsmaschine erforderlich, da nur dann die Erfüllung der für das Parallelschalten notwendigen Bedingungen und eine Verteilung der Belastung auf die einzelnen Gene-

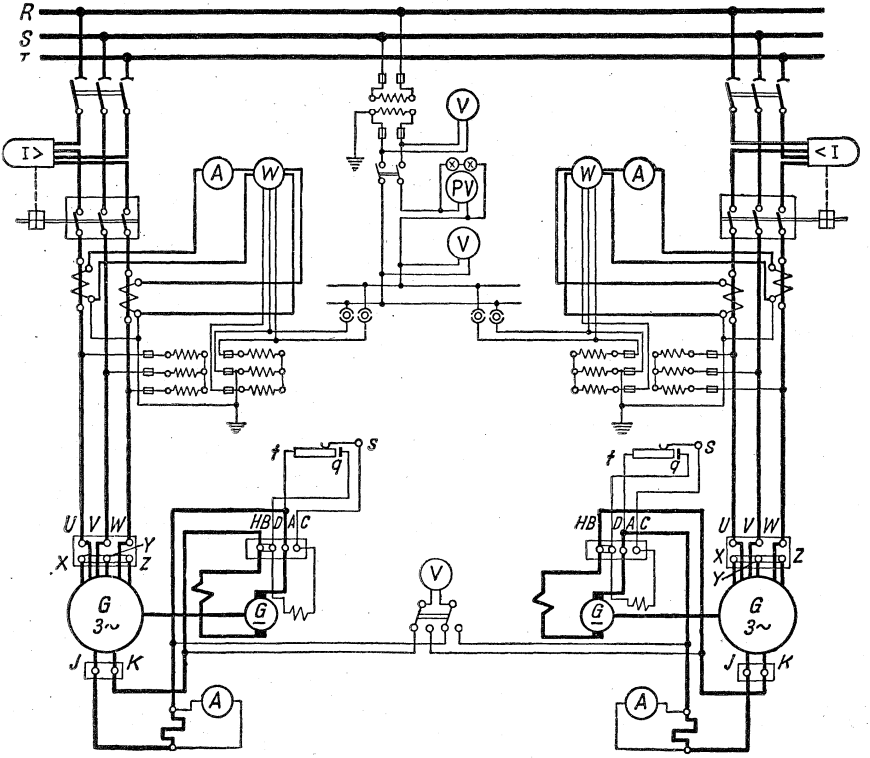


Bild 40. Parallel arbeitende Drehstrom-Synchrongeneratoren für Hochspannung.

Erforderlich:

2 Synchrongeneratoren
2 Erregermaschinen
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
1 Phasenvoltmeter mit Phasenlampen
2 Strommesser
2 Leistungsmesser (bei ungleich belasteten Phasen sind Leistungsmesser für „beliebig" belastete Phasen und ein zweiter Stromwandler erforderlich)
1 einphas. Spannungswandler mit Sicherungen
2 dreiphas. Spannungswandler m. Sicherungen
2 Stromwandler
2 Ölschalter m. direkt. Überstrom-Auslösung
2 dreipolige Trennschalter
2 zweipolige Steckvorrichtungen m. 1 Stecker
1 zweipoliger Schalter, 6 A
1 Spannungsmesser für die Erregung
1 Spannungsmesser-Umschalter f. d. Erregung
2 Strommesser für die Erregung

ratoren möglich ist. Daher ist es nicht angängig, Drehstromgeneratoren, die miteinander parallel arbeiten sollen, von einer Antriebsmaschine oder einem Wellenstrang anzutreiben. Die Bedingungen für das Parallelschalten sind:

gleiche Spannung,
gleiche Frequenz,
Phasengleichheit, d. h. die Spannungskurve der parallel zu schaltenden

Maschinen müssen in gleichen Zeitpunkten ihre höchsten und niedrigsten Werte haben. Erst wenn alle drei Forderungen gleichzeitig erfüllt sind, laufen die Maschinen synchron und können parallelgeschaltet werden.

Die Spannungen werden zweckmäßig nur mit einem Spannungsmesser verglichen, um Unterschiede in den Angaben, die bei Verwendung von zwei Geräten auftreten können, zu vermeiden.

Zum Vergleich der Frequenz dient der Frequenzmesser, der als Doppelfrequenzmesser mit je einem Meßsystem an die Spannung der Sammelschienen und des zuzuschaltenden Generators angelegt wird. Die Phasengleichheit beobachtet man an dem Phasenspannungsmesser PV, welcher zwei aufmontierte, ihm parallelgeschaltete Glühlampen (Phasenlampen) besitzt und für die doppelte Maschinenspannung bemessen sein muß.

Gleiche Frequenz wird erreicht durch richtige Einstellung der Drehzahl. Die Phasengleichheit muß durch Verstellung des Polrades der zuzuschaltenden Maschine, und zwar durch kurzzeitige Drehzahländerungen herbeigeführt werden. Solange Phasengleichheit nicht erreicht ist, schwankt der Zeiger des Phasenspannungsmessers zwischen Null und dem Höchstwert hin und her. Gleichzeitig leuchten die Lampen bis zu ihrer vollen Leuchtkraft auf und verlöschen wieder. Diese periodischen Schwankungen werden um so langsamer, je mehr sich die Maschinen dem Synchronismus nähern. Laufen sie genau gleichmäßig, so zeigt der Phasenspannungsmesser auf Null, und die beiden Lampen sind verloschen. In diesem Moment muß der Hebelschalter der zuzuschaltenden Maschine eingeschaltet werden, vorausgesetzt, daß die Spannungen noch genau gleich sind.

Wie aus vorstehendem hervorgeht, ist zur Parallelschaltung von Drehstromgeneratoren eine Regelung der Drehzahl der Antriebsmaschine erforderlich, und zwar am zweckmäßigsten von der Schalttafel aus. Eine solche elektrische Drehzahlverstellvorrichtung besteht aus einem kleinen Elektromotor, der vermittels eines Vorgeleges auf die Einstellspindel des Reglers der Antriebsmaschine wirkt. Er wird geschaltet durch einen kleinen Umschalter, der auf der Schalttafel angebracht ist und selbsttätig in die Ausschaltstellung zurückgeht, wenn der Schaltgriff losgelassen wird.

Die oben geschilderte Art der Parallelschaltung wird fast allgemein angewandt und wird, da die Maschine zugeschaltet wird, wenn die beiden Phasenlampen nicht leuchten, die **Dunkelschaltung** genannt. Bei der Ausführung dieser Synchronisierschaltung ist zu beachten, daß gleiche Phasen der Maschinen mit gleichen Sammelschienen verbunden werden. In eine dieser Verbindungsleitungen wird der Phasenspannungsmesser geschaltet. In Bild 39 sind z. B. die Sammelschienen R und S mit der gleichen Phase U bzw. V der Maschinen über je eine zweipolige Steckvorrichtung verbunden. In der Leitung, welche die Sammelschiene R mit den gleichen Phasen U der Maschinen verbindet, liegt der Phasenspannungsmesser PV. Bei Zuschaltung einer Maschine ist der zweipolige Stecker in die betreffende Steckvorrichtung zu stecken. Der außerdem vor den Phasenspannungsmesser geschaltete zweipolige Schalter dient zum Ausschalten desselben nach erfolgter Parallelschaltung. Die Synchronisierschaltung kann man für den zuzuschaltenden Generator dadurch nachprüfen, daß die drei Leitungen von seinen Klemmen U V W abgeklemmt werden, der dreipolige Schalter eingeschaltet und der Stecker in die Steckvorrichtung dieses Generators gesteckt wird. Beim Einschalten des zweipoligen Schalters darf dann weder der Phasenspannungsmesser ausschlagen, noch dürfen die Phasenlampen leuchten.

In Hochspannungsanlagen (Bild 40) ist die Schaltung genau die gleiche wie für Niederspannung, nur werden hierbei sowohl von den Sammelschienen als auch von der Maschine aus Spannungswandler zwischengeschaltet.

Die **Hellschaltung** unterscheidet sich von der Dunkelschaltung dadurch, daß der in Betrieb zu nehmende Generator nicht beim Verlöschen der Phasenlampen, sondern bei ihrem vollen Aufleuchten eingeschaltet wird. Dementsprechend sind auch die Synchronisierschaltungen der beiden Schaltarten verschieden. Während bei der

Dunkelschaltung zwei Sammelschienen mit den gleichen Phasen der Maschinen zu verbinden sind, müssen bei der Hellschaltung die beiden von den Maschinen kommenden Leitungen beim Anschließen an die zweipolige Steckvorrichtung miteinander vertauscht werden. In Bild 39 wäre also bei Anwendung der Hellschaltung Schiene R mit Phase V und Schiene S mit Phase U zu verbinden.

Auf dem Grundsatz der Hellschaltung beruht das Synchronoskop, das einen Ersatz für Phasenlampen, Phasenspannungsmesser und Frequenzmesser darstellt. Das Synchronoskop enthält in einem Gehäuse ein nach dem Induktionsprinzip arbeitendes wattmetrisches System, auf das die beiden parallelzuschaltenden Stromkreise einwirken. Hinter einer Mattglasscheibe befindet sich eine Phasenlampe, die bei Phasengleichheit hell aufleuchtet. Mit dem System des Synchronoskops ist ein Zeiger verbunden, der bei Phasengleichheit in der Mittellage zur Ruhe kommt und bei Ungleichheit hin- und herpendelt. Die Bewegungen des Zeigers können an seinem Schatten beobachtet werden, der durch die Phasenlampe auf die Mattglasscheibe geworfen wird.

Der Synchronisator ist eine selbsttätige Parallelschalteinrichtung, die nur für große Anlagen in Betracht kommt, wenn mit einer häufigen Inbetriebnahme der Generatoren zu rechnen ist.

Zu der Synchronisierung von Drehstromgeneratoren für Niederspannung ist noch zu erwähnen, daß bei geerdetem Nullpunkt der Generatoren die in Bild 39 eingezeichnete Verbindungsleitung zwischen Sammelschiene S und den Phasen V der Generatoren nicht verlegt werden darf, da sonst beim Einstecken des zweipoligen Steckers in der Synchronisierschaltung ein Kurzschluß entstehen würde. Im allgemeinen vermeidet man aber eine Verbindung der Nullpunkte der Generatoren untereinander, die insbesondere bei der Parallelschaltung von Maschinen verschiedener Herkunft sich aus den höheren Harmonischen Ausgleichströme ergeben können. Man läßt dann nur einen Generator auf den geerdeten Nulleiter des Netzes arbeiten.

Lastverteilung bei Drehstromgeneratoren.

Nachdem die Generatoren parallelgeschaltet sind, ist die Lastverteilung vorzunehmen. Während bei Gleichstrom die Übernahme der Last nur durch Verstärkung der Erregung, also Erhöhung der Spannung, erfolgt und das dadurch bedingte Abfallen der Drehzahl durch den Regler der Antriebsmaschine unter Vergrößerung der Dampf- oder Brennstoffzufuhr selbsttätig wieder ausgeglichen wird, ist bei Drehstrom auch diese Regelung von Hand vorzunehmen.

Eine Verstärkung der Erregung mittels des Nebenschlußreglers hat zunächst nur einen Ausgleichstrom zur Folge, der in die schon belasteten Maschinen geschickt und vom Strommesser angezeigt wird. Da der Ausgleichstrom größtenteils wattlos ist, wird der Leistungsmesser des zugeschalteten Generators nur sehr wenig ausschlagen. Ein Drehzahlabfall und ein selbsttätiger Ausgleich durch den Regler der Antriebsmaschine tritt daher nicht ein; außerdem wird der Generator durch die schon belasteten Maschinen im Tritt gehalten. Die Vermehrung der Dampf- oder Brennstoffzufuhr zwecks Übernahme von Last ist also durch Betätigung des Umschalters der Drehzahlverstellvorrichtung zu bewirken. Dadurch steigt die Leistung, während diejenige der schon belasteten Maschinen um den gleichen Betrag fällt. Ebenso sinkt auch die Angabe des Strommessers, da der Ausgleichstrom um einen entsprechenden Anteil verringert wurde. Man hat also die Lastverteilung nur durch die Veränderung der Drehzahl in der Hand. Es ist demnach nicht möglich, zwei Drehstromgeneratoren durch Riemen von ein und demselben Wellenstrang oder von je einem Schwungrad einer Lokomotive antreiben zu lassen. Hier würde schließlich die Riemenspannung, also der Riemenrutsch, das einzig veränderliche Glied sein, was zu einem ordnungsgemäßen Betrieb nicht genügen würde.

Um die störenden Ausgleichströme zwischen den Maschinen zu vermeiden, müssen Erregung und Kraftmaschinenregelung im richtigen Verhältnis zueinander stehen. Ist dies der Fall, so zeigen die Strommesser zusammen die geringste Stromstärke an,

welche dem jeweiligen Leistungsfaktor des Netzes entspricht, was durch Verstellen des Nebenschlußreglers nach der einen und anderen Richtung nachgeprüft werden kann. Da durch die Veränderung in beiden Richtungen ein Ausgleichstrom erzeugt wird, muß also auch in beiden Fällen der Strommesser ein Steigen der Stromstärke anzeigen. Der Nebenschlußregler der Erregermaschine ist also stets auf den geringsten Ausschlag des Strommessers einzustellen. Die Steigerung der Spannung und der Dampf- oder Brennstoffzufuhr wird nun so lange wiederholt, bis der Generator die gewünschte Leistung von den anderen übernommen hat.

Gleichzeitig mit dieser Regelung des zugeschalteten Generators sind die Spannung und die Dampf- oder Brennstoffzufuhr der bereits in Betrieb gewesenen zu vermindern, da andernfalls eine Erhöhung der Netzspannung eintreten würde.

Das Entlasten eines Generators erfolgt dadurch, daß die Erregung und die Kraftzufuhr vermindert und die der anderen Generatoren entsprechend verstärkt werden, bis letztere die Gesamtlast übernommen haben. Der Selbstschalter muß dann beim Stande des Strom- und Leistungsmessers auf annähernd Null von Hand ausgeschaltet werden.

VI. Selbsttätige Spannungsregler.

Um den Schalttafelwärter zu entlasten und auch bei schwankender Last eine gleichbleibende Generatorspannung zu erhalten, sind selbsttätige Spannungsregler erforderlich. Die einfachste Ausführung einer derartigen Regelung ist der motorische Antrieb des Nebenschlußreglers, der durch ein Kontaktmeßgerät oder ein empfindliches Spannungsrelais gesteuert wird. Diese Anordnung ist verhältnismäßig träge und empfiehlt sich nur bei geringen Laständerungen und nicht allzu hohen Anforderungen an die Spannungsgleichheit.

Bei großen Lastschwankungen ist stets ein Schnellregler zu empfehlen, und zwar in erster Linie ein Tirrillregler. Dieser gewährleistet infolge seiner charakteristischen Wirkungsweise die schnellste Spannungsregelung. Die Regelung erfolgt dabei derart, daß der Tirrillregler den im Feldkreis der Erregermaschine liegenden Nebenschlußregler periodisch kurzschließt. Durch das Verhältnis der Dauer des Kurzschlusses zur Dauer der Öffnung wird stets der Erregerstrom eingeregelt, der für die jeweilige Belastung die gleichzuhaltende Spannung liefert. Die Kontakte des eigentlichen Relais können nur eine begrenzte Leistung schalten. Bei großen Erregerströmen verwendet man daher mehrere hintereinander- oder parallelgeschaltete besondere Relaiskontakte, die vom Spannungssystem gesteuert werden; dabei überbrückt jeder Kontakt nur einen Teil des Reglerwiderstandes. Für die Auswahl der Tirrillreglergröße und für die Gewährleistung einer einwandfreien Arbeitsweise ist daher die genaue Kenntnis der Erregerdaten erforderlich.

Gleichstromgeneratoren benötigen bei Verwendung des Tirrillreglers eine besondere Erregermaschine.

Werden nicht die sehr hohen Anforderungen an die Spannungsgenauigkeit, die der Tirrillregler beherrscht, gestellt, dann ist bei kleinen und mittleren Leistungen der Kohlewiderstandsregler am Platze. Dieser Schnellregler besitzt mehrere Stapel von beweglich angeordneten Kohleplatten, die in Ruhestellung hintereinandergeschaltet sind. Das Spannungssystem bewirkt eine Umschaltung der Platten, derart, daß je nach dem einzustellenden Erregerstrom mehr oder weniger Kohleplatten kurzgeschlossen werden; die Überbrückung erfolgt auf metallischem Weg durch in die Kohleplatten eingelassene Metallstücke. Der Kohlewiderstandsregler ist auch für die unmittelbare Spannungsregelung von kleinen Gleichstromgeneratoren ohne Erregermaschine verwendbar.

Zu den Schnellreglern rechnet auch der Thomaregler, der als Öldruckregler mit hoher Verstellkraft arbeitet und die Spannung durch Verstellen des Nebenschlußreglers einregelt. Er findet in der Hauptsache Anwendung bei Gleichstromgeneratoren, um die bei Tirrillbetrieb erforderliche Erregermaschine einzusparen.

Bei Drehstromgeneratoren dient er zur Betätigung des Megnetreglers bei Fremderregung aus unabhängiger Gleichstromquelle.

Die bei gleicher Lastschwankung auftretenden Spannungsschwankungen sind bei Drehstromgeneratoren wesentlich größer als bei Gleichstrommaschinen. Wenn daher neben stark schwankender Kraftbelastung auch Glühlampen gespeist werden, so ist ein Schnellregler unentbehrlich.

Parallel arbeitende Drehstromgeneratoren werden zweckmäßig durch je einen besonderen Tirrillregler geregelt. Eine stabile Blindlastverteilung läßt sich dabei in einfacher Weise durch eine Strombeeinflussung der Regler erreichen.

VII. Schutz von Drehstromgeneratoren.

Man muß damit rechnen, daß die Stromerzeuger durch Überlastungen, Kurzschlüsse, Erdschlüsse, mechanische und thermische Überbeanspruchungen gefährdet werden. Obwohl in den meisten Fällen die Maschinen unter ständiger Aufsicht stehen, ist dadurch keine Gewähr für eine rechtzeitige Erkenntnis der Fehler sowie eine sichere Abschaltung gegeben. Man verwendet daher selbsttätige Einrichtungen, die als Generatorschutz bezeichnet werden.

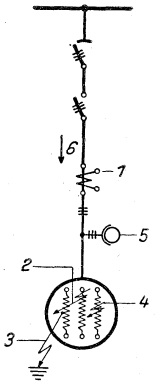


Bild 41.
Generatorfehler.
1 Überstrom
2 Kurzschluß
3 Erdschluß
4 Windungsschluß
5 Überspannung
6 Rückleistung

Der Generatorschutz muß der Art des Stromerzeugers angepaßt sein, die insbesondere in der Industrie sehr vielgestaltig ist. Im folgenden wird lediglich der Schutz der in Deutschland am meisten verwendeten Drehstromgeneratoren 3—10 kV beschrieben.

Der Generatorschutz muß ferner den vorkommenden Fehlern entsprechen, welche in Bild 41 angedeutet sind:

1. Überstrom, verursacht durch Kurzschlüsse im Verteilungsnetz oder an den Sammelschienen oder durch Ausfall parallellaufender Maschinen, bewirkt unzulässige Erwärmung des Stromerzeugers; zur Überwachung dienen Überstromrelais.
2. Kurzschluß zwischen den Phasen innerhalb des Schutzbereiches (auch Wicklungsschluß genannt) führt zum Brand der Wicklung, die er meist mechanisch deformiert. Er wird bei Drehstrom durch Differentialrelais erkannt.
3. Erdschluß (auch als Gestellschluß bezeichnet) besteht bei Schluß zwischen einer Phase der Maschine und ihrem geerdeten Ständer. Erdschluß führt zu Kurzschluß und Windungsschluß, deshalb wird durch einen Erdschlußschutz der größte Teil aller Fehler vorbeugend erfaßt.
4. Windungsschluß bedeutet Kurzschluß im Ständer zwischen den Windungen gleicher Phase. Bei Turbogeneratoren mit höchstens 2 vollisolierten Stäben in einer Nut ist die Isolation der Stäbe gegeneinander stärker als gegen Eisen, so daß von einem Windungsschluß eher ein Erdschluß erfolgt, der bereits vom Erdschlußschutz erfaßt wird. Falls andererseits bei Langsamläufern in jeder Nut viele Leiter untergebracht sind, bewirkt ein Windungsschluß an der betroffenen Phase eine so geringe Spannungsänderung gegenüber den gesunden Phasen, daß letztere eine auf Spannungsvergleichung begründete Schutzschaltung nicht anregt, während eine zu empfindliche Einstellung bei unsymmetrischen Belastungen leicht zum Fehlansprechen neigen würde. In allen Fällen kann man daher auf besonderen Windungsschlußschutz verzichten.
5. Spannungssteigerung, verursacht durch Abschalten von Kurzschlüssen, Zuschalten von Blindlast (Fernleitung) und Drehzahlerhöhung (bei Wasserkraft

bis 80%) wird bekämpft durch Spannungsregler; bei Wasserkraft ist als zusätzlicher Schutz ein Überspannungsrelais zweckmäßig.

6. Rückleistung, welche bei Kraftwerken mit mehreren Generatoren beim Versagen des Maschinenreglers oder der Antriebsmaschine eintritt, wurde früher durch Rückwattrelais bekämpft. Bei Leistungspendelungen verursachten sie Fehlabschaltungen, daher sieht man heute Rückwattrelais nur in den Netzzuleitungen vor.

Wieweit man einen Generator mit Schutzeinrichtungen ausstattet, hängt von der Bewertung ab, die man der Generatorreparatur, dem Stromausfall während der Reparaturzeit und der Prämie der Maschinenversicherung zuweist. In normalen Fällen wird man außer Überstromschutz ab 500 kVA Maschinenleistung Differentialschutz und außerdem ab 2500 kVA Erdschlußschutz vorsehen; diese Schutzarten betätigen außer dem Leistungsschalter eine Feldschwächungseinrichtung, welche den Generator entregt.

a) Der Überstromschutz.

Überstrom-Selbstschalter werden bei einem Kurzschluß zwischen den Generatorphasen vom eigenen Kurzschlußstrom des Generators nicht durchflossen, sondern nur von der Rückspeisung, falls andere Generatoren parallel arbeiten. Sie sichern den Generator also nur gegen Kurzschlüsse im Netz, sind aber unwirksam gegen innere Generatorfehler, genügen daher nur für kleine Leistungen.

Bei größeren Leistungen verwendet man Überstromrelais, die gegen Kurzschlüsse im Generatorinnern nur wirken, wenn man die zugehörigen Stromwandler in den Generatornullpunkt bzw. bei Dreieckschaltung in die 3 Verbindungspunkte der 3 Phasen legt. Sie sollen unabhängige Zeiteinstellungen besitzen, da abhängige Relais gegenüber dem Netz schwer zu staffeln sind.

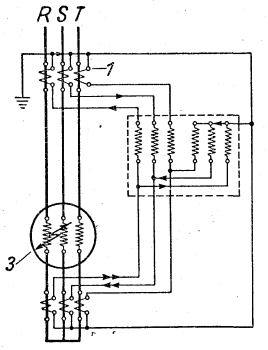


Bild 42. Differentialschutz bei innerem Kurzschluß

b) Der Differentialschutz.

Beim Differentialschutz (Bild 42) werden sekundär vor und hinter dem Schutzbereich die Stromwandler gleicher Phase in Reihe geschaltet. Außer einem vom abzweigenden Fehlerstrom durchflossenen Auslösesystem A sieht die AEG bei dem Quotientendifferentialrelais ein vom Betriebsstrom durchflossenes Haltesystem H vor.

Bei Kurzschluß innerhalb eines geschützten Generators entsteht zwischen den Wandlern gleicher Phase eine Stromdifferenz, die durch die Auslösewicklung des Relais fließt; das Relais löst aus. Im ungestörten Betrieb und bei äußerem Kurzschluß sollte kein Strom durch die Auslösewicklung fließen. Tatsächlich fließen durch die Ungenauigkeiten der Wandler gegenüber dem Übersetzungsverhältnis Ausgleichströme oder Falschströme, die besonders bei Kurzschluß, aber auch bei hoher Belastung das Auslösesystem anregen können. Um letzteres zu vermeiden, verwendet die AEG die Haltewicklung, welche mechanisch der Auslösewicklung entgegenwirkt und das Relais um so stärker in seine Ruhelage drückt (sperrt), je größer die Belastung ist. Die früher nötige Abgleichung der Wandler entfällt. — Bei Dreieckschaltung des Generators (Bild 43) ist je 1 Wandler (gleicher Übersetzung wie die netzseitigen Wandler) in je eine Dreieckseite zu legen und sekundär in Dreieck zu schalten.

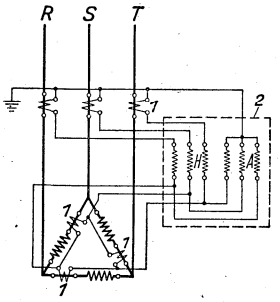


Bild 43. Differentialschutz bei Dreieckschaltung.

Arbeitet ein Generator mit einem Umspanner (Bild 44)

als Einheit zusammen, so ist ein Zwischenwandler vorzusehen, wenn der Schutzumfang Generator und Transformator umfassen soll, um im Transformator Phasenverschiebung sowie bei den Wandlern ungleiche Sekundärströme durch Anschluß des Relais an die dritte Wicklung auszugleichen. — Bild 45 zeigt eine Außenansicht des Differentialrelais.

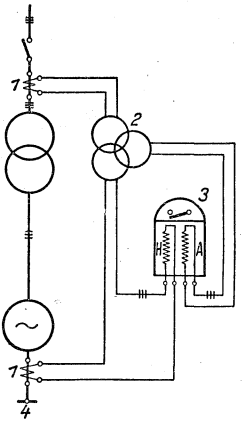


Bild 44. Differentialschutz für Generator-Transformator.

c) Der Erdschlußschutz.

Der Erdschlußschutz soll den Generator schützen gegen die Auswirkungen der Erdschlüsse innerhalb des Schutzbereiches. Zu unterscheiden ist, ob der Generator unmittelbar (Fall I) oder über einen Umspanner (Fall II) am Netz liegt.

Fall 1: Arbeitet der Generator, wie in mittleren Industriebetrieben, direkt auf das Netz (Bild 46), wird der Schutzbereich begrenzt durch eine Gruppe von 3 Stromwandlern zwischen Generator und Netzschienen. Die Sekundärwicklungen der Gruppenwandler sind parallelgeschaltet und an die Stromspule des Erdschlußrelais angeschlossen. In den gemeinsamen Ableitungen fließt die Summe der 3 Wandlerströme. Letztere ist bei einem gesunden Generator Null und bei unsymmetrischen Phasenströmen gleich dem Unsymmetriestrom, daher bei Erdschluß im Netz ein Abbild des Erdschlußstromes; nach diesem Herausschieben der Unsymmetrie heißt die Schaltung Unsymmetrie-Schaltung (Holmgren-Schaltung).

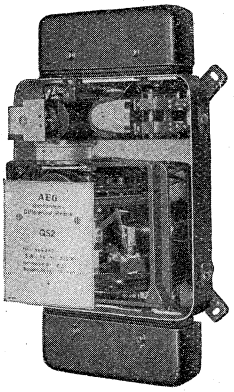


Bild 45. Differentialrelais.

Bei Netzerdschluß fließt in der Gruppe ein Summenstrom, welcher das Relais sperrt. Der Auslösewandler in der Erdverbindung, welcher parallel zur Gruppe an das Relais angeschlossen ist, gibt auf das Relais stets Strom in auslösendem Sinne. Bei gleicher Übersetzung von Gruppe und Auslösewandler würde also bei Netzerdschluß das Relais stromlos bleiben. Damit das Relais bei äußerem Erdschluß mit Sicherheit sperrt, werden die Gruppenwandler mit kleinerer Übersetzung ausgelegt. — Bei Erdschluß im Generator ist nur der Auslösewandler stromdurchflossen und speist das Relais, während die Gruppe wie eine parallelliegende Drossel mit hohem Widerstand wirkt.

Das Schutzrelais erhält ein wattmetrisches System, weil letzteres gegenüber einem Stromsystem empfindlicher und ferner weil es richtungsabhängig ist, so daß man durch nachstehende Schaltung erkennen kann, ob der Erdschluß im Netz oder innerhalb des Schutzbereiches erfolgte (nur im letzteren Falle darf eine Auslösung erfolgen). Damit nicht jeder

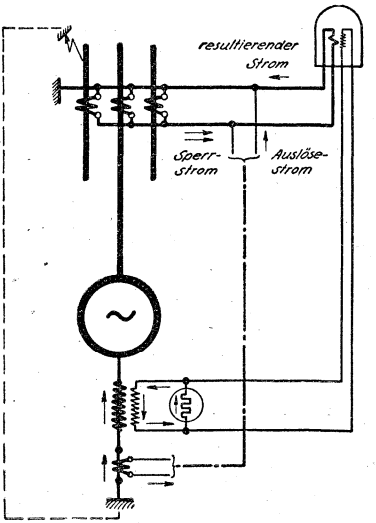


Bild 46. Wattmetrischer Erdschlußschutz mit künstlicher Erdschlußstrombegrenzung.

Erdschlußwischer den Schutz auslöst, erfolgt die Betätigung über ein Zeitrelais. Die Spannungsspule des Relais wird an die Sternpunktspannung angeschlossen. Dabei kann die Spannung von einem Widerstand, der von einem künstlichen Erdschlußstrom von wenigen Ampere durchflossen wird, mittels eines Spannungswandlers, der parallel zu diesem Widerstand an Erde liegt, abgenommen werden.

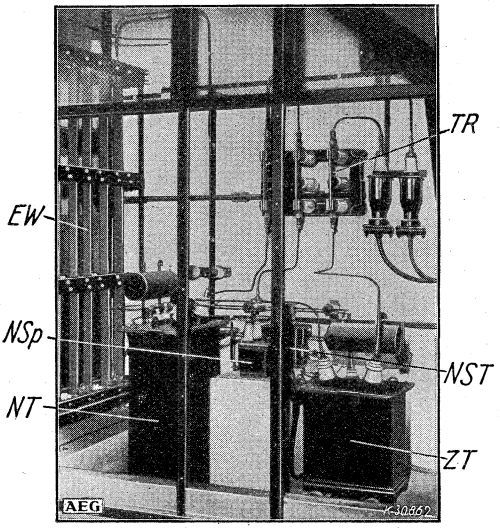


Bild 47. Geräte für 100% Erdschlußschutz mit Eisenbandwiderstand.
EW = Eisenbandwiderstand
NSp = Nullpunktsspannungswandler
NST = Nullpunktsstromwandler
NT = Nullpunktstransformator
TR = Trennschalter
ZT = Zusatztransformator

Bei Verwendung eines festen (unveränderlichen) Widerstandes würde sich dann je nach der Lage der Erdschlußstelle ein mehr oder weniger starker Erdschlußstrom ergeben. Zweckmäßig führt man daher den Widerstand so aus, daß sich sein Widerstandswert selbsttätig im Sinne einer Konstanthaltung des Erdschlußstromes einstellt. Der Widerstand kann, statt unmittelbar in der Erdschlußverbindung zu liegen, auch von einem Umspanner gespeist werden, dessen Primärwicklung in der Erdverbindung liegt. Dabei kann man einen Widerstandsrahmen mit luftgekühlten Bändern aus Spezialllegierung (Bild 47) verwenden oder auch die Widerstände als Eisenwasserstofflampen ausbilden.

Durch eine Spannungsregenerierung nach Patent Dr. Bütow kann auch die Spannung an der Spannungsspule des wattmetrischen Relais unabhängig von der Lage der Erdschlußstelle der Wicklung gegenüber dem Nullpunkt derselben konstant gehalten werden. Zu diesem Zweck wird die Spannungsspule auf der Sekundärseite eines Kleintransformators (Bild 48) angeschlossen, dessen Primärseite über Eisenwasserstofflampen an Erdschlußspannung liegt. Auf diese Weise bleibt auch bei Fehlern der Wicklung nahe dem Generatornullpunkt, bei denen eine sehr kleine Spannungsdifferenz auftritt, der Primärstrom des Kleintrafos und damit die Relaisspannung fast gleich wie bei Klemmenerdschluß.

Man spricht von einem Schutzumfang des Erdschlußschutzes und rechnet diesen von den Generatorklemmen nach dem Wicklungsinnern in Hundertteilen der Wicklung. Wenn der Schutz z. B. bis zu denjenigen Punkten der Wicklung, welche etwa 85% von den Klemmen entfernt sind, empfindlich ist, spricht man von 85% Schutzumfang. Um die Empfindlichkeit des Schutzes zu erhöhen, kann man bei sonst gleicher Auslegung für Wandler und Relais die Spannung des Generatornullpunktes durch

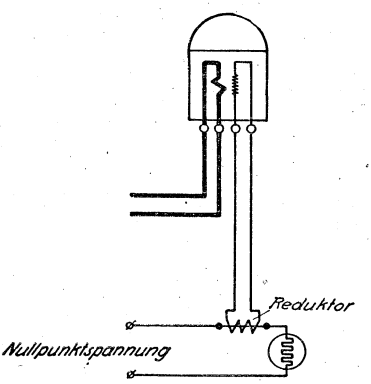


Bild 48. Spannungsregenerierung nach Dr. Bütow.

einen Umspanner in Sonderschaltung dauernd verlagern (z. B. um 15%), wenn die Netzverhältnisse dies zulassen.

Um einen ausreichenden Schutz zu haben, wenn der Generator bei offenem Leistungsschalter unter Erdschluß auf Spannung hochgefahren wird, wird der Stromspule des Erdschlußrelais durch einen Hilfskontakt am Leistungsschalter über einen Vorwiderstand aus dem Sternpunkt-Spannungswandler Strom zugeführt (Bild 49), der gemeinsam mit der Erdschlußspannung das Relais auslöst.

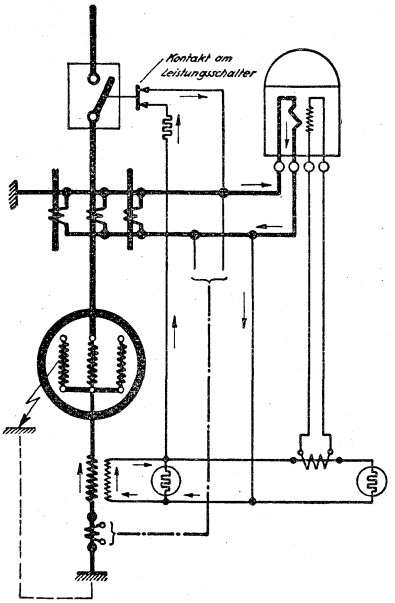


Bild 49. Erhöhter Schutz bei offenem Schalter.

Fall II: Wesentlich einfacher wird der Erdschlußschutz, falls der Generator nicht leitend, sondern über einen Transformator mit dem Netz verbunden ist, wobei Generator und Umspanner eine Einheit bilden. In solchen Fällen genügt der Erdschlußstrom allein zur Betätigung des Schutzes (Amperemetrischer Erdschlußschutz), wie solchen Bild 50 zeigt.

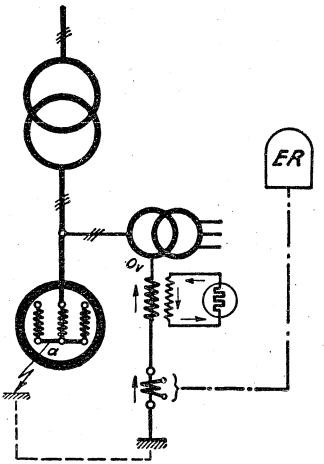


Bild 50. Amperemetrischer Erdschlußschutz m. Sternpunkt-Verlagerungstransformator, Schutzbereich 100%.

d) Feldschwächung.

Bei Auftreten eines Fehlers soll die Schutzeinrichtung gleichzeitig den Leistungsschalter ausschalten und die Maschine entregen, damit sie selbst nicht auf die Fehlerstelle einwirken kann.

Bei kleinen Generatoren wird zu diesem Zweck ein Widerstand, der im normalen Betrieb überbrückt ist, in den Nebenschlußkreis der Erregermaschine eingeschaltet (Bild 51); dadurch wird das Feld der Erregermaschine geschwächt und die Spannung des Generators etwa auf Remanenzspannung vermindert.

Bei mittleren Generatoren (Bild 52) wird die Einrichtung durch einen zusätzlichen Widerstand im Induktorkreis ergänzt, der ebenfalls im normalen Betrieb überbrückt ist; diese Entregung wirkt schnell und kräftig.

Die Ein- und Ausschaltung des Feldschwächautomaten von fern kann mittels eines Betätigungsschalters erfolgen. Hierbei wird durch einen

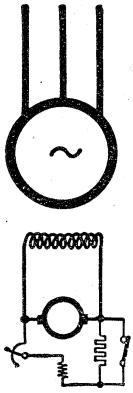


Bild 51. Feldschwächung bei kleinen Generatoren.

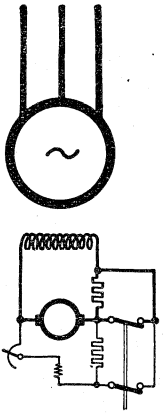


Bild 52. Feldschwächung bei mittleren Generatoren.

am Nebenschlußregler angebrachten Hilfskontakt die Einschaltung nur bei ganz vorgeschalteten Nebenschlußregler ermöglicht, um eine Stoßerregung zu vermeiden.

e) Prüfeinrichtung.

Es ist zu empfehlen, die gesamte Schutzeinrichtung jährlich einmal durch einen Fachmann überprüfen zu lassen. Abgesehen davon, sollten von Zeit zu Zeit die Relais allein durch Anlegen von Hilfsstrom bzw. Spannung zum Ansprechen gebracht werden, wofür zweckmäßig alle benötigten Vorwiderstände, Druckknöpfe usw. in einem besonderen Prüfkasten vereinigt werden (Bild 53).

VIII. Notstromanlagen.

Obwohl die stetige Strombelieferung aus einem Überlandwerk durch Vermaschung der Netze in hohem Maße gesichert erscheint, begnügt man sich mit dieser Sicherheit nicht, wenn bereits durch kurzen Ausfall der Stromversorgung größere Sachwerte oder gar Menschenleben gefährdet sind. Man sorgt dann für Ersatzstromquellen von sofortiger Betriebsbereitschaft. Als Ersatzstromquelle hat sich der selbsttätig anlaufende **Notstromsatz** durchgesetzt, der aus einer Verbrennungskraftmaschine mit Generator und Hilfsgeräten für den Selbstanlauf besteht. Die Möglichkeit, die Einsatzdauer beliebig auszudehnen und sich jeder verlangten Stromart und Spannung unmittelbar anzupassen, geben diesen Sätzen den Vorzug vor allen sonst in Frage kommenden Ersatzstromquellen. Der Maschinensatz ist wenige Sekunden nach dem Ausbleiben der Netzspannung in der Lage, die Stromlieferung zu übernehmen; diese Ersatzbereitschaft genügt mit wenigen Ausnahmen den von Behörden und der Industrie gestellten Anforderungen.

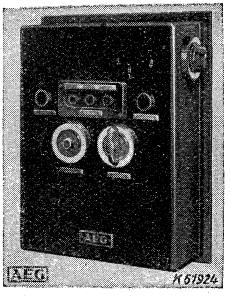


Bild 53. Prüfeinrichtung.

Als Antriebsmaschine wird der Dieselmotor bevorzugt. Der Leistungsbereich für Notstromsätze liegt meistens zwischen 25 und 250 PS. Die Wahl der Leistung erfordert größte Sorgfalt. Soll die Anlage ihre Aufgabe erfüllen, dann darf die geringe wirtschaftliche Ausnutzung nicht dazu verleiten, an Anlagekosten zu sparen. Der Dieselmotor ist nur wenig überlastbar; kann er nicht den im Notfall unbedingt erforderlichen Strom liefern, dann wird die Anlage überhaupt überflüssig, da sie ihre Aufgabe nicht erfüllen kann. Besondere Vorsicht ist dann geboten, wenn Drehstrommotoren für unmittelbare Einschaltung zu speisen sind; ihre hohen Anlaufströme erfordern unabhängig von der Spannungs-Schnellregelung durchweg noch eine Sonderauslegung des speisenden Generators mit erhöhter Spannungssteifigkeit, um ein Außertrittfallen der Motoren zu verhindern.

Die Raumansprüche einer Notstromanlage sind bescheiden, doch muß eine zu knappe Raumausnutzung wegen guter Übersicht und schneller Zugänglichkeit aller Einrichtungen unbedingt vermieden werden, auch darf man nicht vergessen, für eine hinreichende Raumbelüftung zu sorgen. Das ist besonders wichtig für Anlagen, die im Rahmen von Luftschutzmaßnahmen gegen die Außenluft abgeschlossen werden sollen. Wegen des hohen Luftbedarfs wird man es nach Möglichkeit vermeiden, die erforderliche Raumluft über die Filteranlage der Luftschutzeinrichtungen zu führen. Es genügt, diese aus einem Kamin anzusaugen, wobei eine Verseuchung des Raumes so gut wie ausgeschlossen ist.

Dieselmotor und Generator sind durchweg unmittelbar gekuppelt und bei Leistungen bis etwa 250 PS auf einen gemeinsamen Grundrahmen gesetzt. Diese Grundplatte ist stets erforderlich, wenn der Dieselsatz in der Nähe von Wohn- und sonstigen Aufenthaltsräumen zur Aufstellung kommt. Man setzt dann den ganzen Maschinen-

satz auf federnde Schwingungsisolatoren, die jede Weiterleitung von Erschütterungen auf die Umgebung verhindern (s. Maschinengründungen Abschnitt „Motoren").

Sehr wichtig für derartige Anlagen ist die Kühlung des Antriebsmotors. Aus Gründen der Unabhängigkeit werden die Maschinensätze fast ausnahmslos mit Umlaufkühlung ausgerüstet. Diese besteht aus einem Kühlwasserbehälter sowie aus einer an den Dieselmotor angebauten Kühlwasserkreiselpumpe, welche das Wasser im Kreislauf umwälzt. Der Behältervorrat ermöglicht es, den Maschinensatz ein bis zwei Betriebsstunden zu fahren, ohne daß eine Rückkühlung des Wassers nötig ist, außerdem hat diese Kühlart den Vorteil, daß beim Anlauf keinerlei Hähne usw. zu betätigen sind. Das Kühlwasser kann entweder durch einen in den Kreislauf eingeschalteten Stirnkühler rückgekühlt werden oder man gibt durch eine kleine Pumpenanlage mit unabhängigem Brunnen Frischwasser hinzu. Der Stirnkühler wird zweckmäßig oberhalb des Behälters angeordnet, so daß er bei Stillstand von selber leerläuft und eine Einfriergefahr vermieden wird. In Anlagen, wo die Frischwasserversorgung hinreichend sichergestellt ist, kann man das erforderliche Kühlwasser auch der Wasserleitung entnehmen.

Bild 54 zeigt in vereinfachter Form den Schaltvorgang eines selbsttätigen Anlaufs des Dieselmotors. In dem Schaltbild sind die Spulen und Kontakte der Schalt- und Meßgeräte so auseinandergezogen, daß jeder Schaltvorgang möglichst als senkrechte Linie zwischen Plus- und Minuspol der Hilfsbatterie dargestellt wird. In die Anlaufbefehlsgabe ist stets eine kurze Verzögerung eingeschaltet, die das Anwerfen des Dieselmotors bei kurzen Spannungsunterbrechungen verhindert. Benötigt der Dieselmotor zum Anspringen besondere Hilfseinrichtungen, wie z. B. Glühspiralen bei Vorkammermaschinen, so benutzt man die Anlaufverzögerung für die Vorbereitung des Anlaufs. Zum Anwerfen des Dieselmotors dient bei kleineren Anlagen der Bosch-Anwurfmotor, der in bekannter Weise durch eine Batterie von meistens 24 V gespeist wird. Die Batterie dient gleichzeitig zur Stromversorgung der Hilfsgeräte. Bei größeren Maschinensätzen wird der Dieselmotor durch Preßluft angeworfen und als Druckluftmotor auf Zünddrehzahl beschleunigt, bis durch Einsetzen der Zündungen der Motor von selbst weiterläuft.

In der Schaltung tritt bei Druckluftanlauf an Stelle des Bosch-Anlassers ein Magnetventil zur Freigabe der Anlaßluft. Zu beachten ist, daß sich für Druckluftanlauf nur sechs- und mehrzylindrige Motoren verwenden lassen, da nur diese aus jeder Stellung anlaufen.

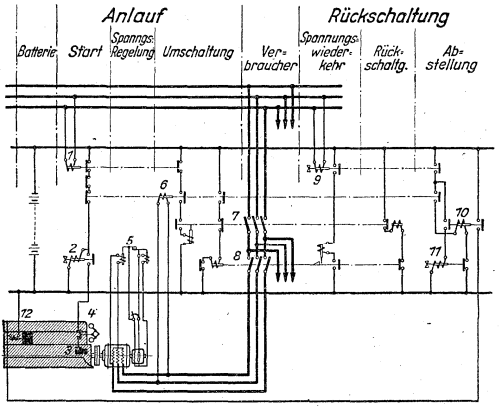


Bild 54.
Schaltfolge für Selbstanlauf.

1. Netzspannungswächter
2. Anlaufverzögerungsrelais
3. Anwurfmotor
4. Startunterbrechung bei Zünddrehzahl
5. Spannungsregler
6. Generatorspannungswächter
7. Netzschalter
8. Generatorschalter
9. Rückschaltzeitrelais
10. Abstellschütz
11. Zeitrelais für Abstellunterbrechung
12. Abstellmagnet

In die Schaltskizze nicht aufgenommen ist eine Reihe von Schaltern und Druckknöpfen für die Erprobung und Handbedienung der Anlage, die zu jeder einwandfreien Ausführung gehören. Außerdem sind Schutzeinrichtungen für die selbsttätige Über-

wachung des Betriebes vorgesehen, die bei Störungen den Maschinensatz abstellen und gleichzeitig die Art der Störung anzeigen.

Die für den Schaltvorgang erforderlichen Geräte werden gewöhnlich in einem geschlossenen Schaltschrank untergebracht, wie ihn Bild 55 als Beispiel zeigt. Wichtig für derartige Anlagen sind eine übersichtliche Anordnung und eine sorgfältige Auswahl der zur Verwendung gelangenden Geräte mit Rücksicht auf die geforderte ständige Betriebsbereitschaft. Bei der Planung des Verbrauchernetzes ist von vornherein darauf zu achten, daß die lebenswichtigen Verbraucher an ein getrenntes Versorgungsnetz angeschlossen werden, für dessen Belieferung der Notstromsatz ausreicht.

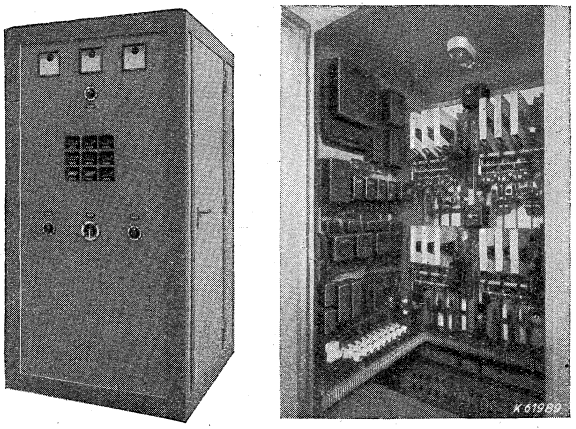


Bild 55. Schaltschrank für Notstrom-Dieselsatz.

Wo die Raumfeuchtigkeit eine Unterbringung der Schalteinrichtung in normalen Blechschränken nicht gestattet, läßt sich diese auch in luftdicht geschlossenen Kästen anordnen, ähnlich den normalen Gußverteilungen der AEG. Besteht die Gefahr, daß die Raumtemperatur erheblich unter 15° C absinken kann, so ist für genügende Heiung zu sorgen, damit ein sicheres Anspringen der Dieselmotoren gewährleistet ist.

UMSPANNER
(TRANSFORMATOREN)

I. Aufbau und Wirkungsweise.

Transformatoren oder Umspanner sind dazu bestimmt, Wechselstrom einer bestimmten Spannung und Frequenz in solchen einer anderen Spannung, aber gleicher Frequenz umzuwandeln. Ein solcher Umspanner besteht im wesentlichen aus einem Eisenkern, der aus dünnen voneinander isolierten, besonders legierten Blechen angefertigt wird, und den beiden Wicklungen für die Ober- und Unterspannung. Das Verhältnis der beiden Spannungen, d. h. die Übersetzung, entspricht dem Verhältnis der Windungszahlen. Das Eisen führt den magnetischen Fluß; die hierin auftretenden Verluste werden Eisen- oder auch Leerlaufverluste genannt. Die in den Wicklungen durch den Strom hervorgerufenen Verluste nennt man Wicklungsverluste. Beide Verlustarten werden in Wärme umgesetzt, die nach außen abgeführt werden muß.

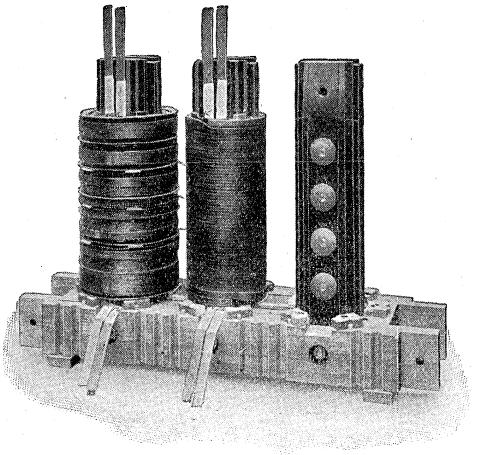


Bild 1.
Kern und Wicklung eines Umspanners im Aufbau.

Die Umspanner werden fast ausschließlich als Kerntypen hergestellt, deren Schenkel in einer Ebene liegen. Man unterscheidet **Trocken-** und **Ölumspanner.** Bei den Trockenumspannern werden der Eisenkern und die Spulen unmittelbar durch Luft gekühlt, während letztere in einen mit Öl gefüllten Kessel eingebaut werden. Da das Öl eine höhere elektrische Festigkeit und Wärmeübergangszahl als Luft aufweist, können die Werkstoffe bei einem Ölumspanner höher ausgenutzt werden, wodurch kleinere Abmessungen des aktiven Teiles erzielt werden. Weiter ist auch eine höhere Erwärmung der in Öl gebetteten Spulen zulässig. Trockenumspanner sind nur für Aufstellung in trockenen Innenräumen bestimmt.

Zur genauen Einstellung der Übersetzung erhalten die Umspanner gewöhnlich zwei **Anzapfungen** auf der Oberspannungsseite, die eine Änderung der Windungszahlen um etwa ± 4 v. H. gestatten. Die Umschaltung erfolgt in spannungslosem Zustande, und zwar bei Trockenumspannern durch Umklemmen, bei Ölumspannern über dem Deckel mittels eines Anzapfschalters, der aus zwei ineinander gesteckten Hartpapierrohren (Geax) besteht (Bild 2). Das innere Rohr ist als Schaltwalze ausgebildet und trägt die Umschaltverbindungen, während das äußere festliegende Rohr mit den Anschlüssen für die Anzapfungen versehen ist. Um die bei einem Kurzschluß entstehenden, in Achsenrichtung liegenden Schubkräfte auf die Wicklungen möglichst kleinzuhalten, werden die Anzapfungen bei Umspannern bis etwa 200 kVA in der Mitte des Schenkels angeordnet (Bild 3), bei höheren Leistungen entsprechend (Bild 4). Die Anschlüsse werden mittels Durchführungen aus dem Kessel herausgeführt. Diese Durchführungen sind kittlos befestigt und können ausgewechselt wer-

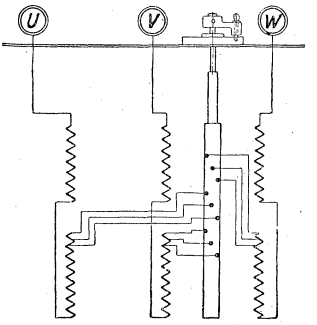


Bild 2. Anzapfschalter.

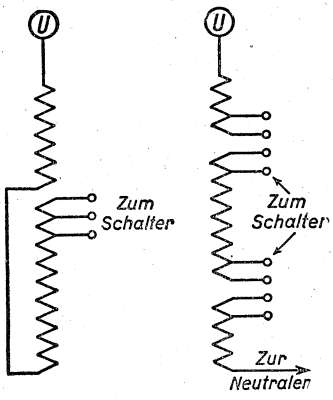


Bild 3. Bild 4.
Anzapfungen der Umspanner-Wicklungen.

den, ohne daß der Deckel des Umspanners geöffnet zu werden braucht.

Ölumspanner werden stets mit Öl gefüllt geliefert und zwar wird nur Mineralöl, das den Vorschriften für Trafo- und Schalteröle entspricht, verwendet. Außerdem unterwirft die AEG das Öl einer besonderen Vorbehandlung, durch welche die bei jedem Öl vorhandene Neigung zur Schlammbildung erheblich herabgesetzt und gleichzeitig die Durchschlagfestigkeit erhöht wird. Auch nach Instandsetzungen an Ort und Stelle darf zum Nachfüllen nur ein den Verbandsvorschriften entsprechendes Öl verwendet werden.

Ölumspanner werden stets mit einem **Ausdehnungsgefäß** (Ölkonservator) geliefert (Bild 5). Dies ist ein kleines Ölgefäß, das durch ein Rohr mit dem Ölkessel des Umspanners in Verbindung steht und bei kleineren Leistungen auf dem Umspanner aufgebaut, bei großen Leistungen getrennt angeordnet wird. Da der Umspannerkessel vollkommen mit Öl gefüllt sein muß (ein Ölstandsanzeiger befindet sich am Ausdehnungsgefäß), so hat das Ausdehnungsgefäß, wie schon der Name sagt, die Aufgabe, dem Öl die Möglichkeit zu geben, sich bei Erwärmung drucklos ausdehnen zu können. Dabei wird auch die mit der Außenluft in Verbindung stehende Oberfläche des Öles kleingehalten, wodurch die Feuchtigkeitsaufnahme des Öles auf ein Mindestmaß beschränkt wird. Weiter wird durch das Ausdehnungsgefäß verhindert, daß warmes Öl mit der Außenluft in Verbindung steht, was ebenfalls zu einer Verschlechterung des Öles führen würde.

Zum Einführen von Thermometern oder Thermostaten (Bimetallrelais) werden auf dem Umspannerdeckel Taschen angebracht, die vor Inbetriebnahme des Umspanners mit Öl gefüllt werden müssen.

Umspanner für Leistungen über 100 kVA werden stets mit Fahrrollen ausgerüstet, für kleinere Leistungen nur auf Wunsch. Die Rollen können beliebig für Längs- oder Querfahrt eingesetzt werden.

Alle Ölumspanner von 50 kVA an aufwärts können mit **Buchholzschutzrelais** geliefert werden. Dieses Gerät ist ein Relais, das in die vom Umspanner zum Ölausdehnungsgefäß führende Rohrleitung eingebaut wird (Bild 6). Es besteht aus einem Gußgehäuse, das einen oder zwei drehbar angeordnete Schwimmer enthält, deren jeder eine für Ruhe- oder Arbeitsstrom einstellbare Quecksilberkontaktröhre trägt. Sobald nun der Umspanner fehlerhaft wird und eine Gasentwicklung eintritt, sammeln sich die Gasblasen im Buchholzrelais und brin-

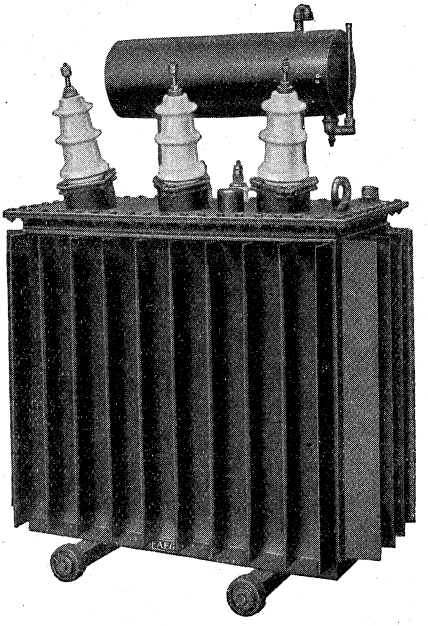


Bild 5. Ölumspanner mit aufgebautem Ölausdehnungsgefäß.

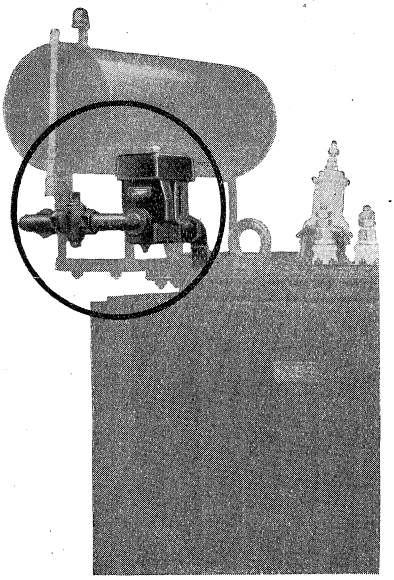


Bild 6. Buchholzrelais.

gen den Schwimmer und damit die Anzeigevorrichtung zum Ansprechen. Bei schwereren Schäden tritt eine durch Drucksteigerung hervorgerufene Stoßströmung des Öles ins Ölausdehnungsgefäß ein. Diese Strömung bewirkt eine Kontaktbetätigung durch den zweiten Schwimmer, wodurch über eine Auslösevorrichtung die Abschaltung des Umspanners erfolgt. Der Buchholzschutz zeigt also die in einem Umspanner sich ausbildenden Fehler rechtzeitig an und bewirkt die sofortige Abschaltung des Umspanners, ehe der Fehler ernstere Formen annehmen kann. Ebenso wird auch ein Undichtwerden des Kessels, das zu einem Ölverlust führen kann, angezeigt.

II. Schaltungen.

Die Wicklungen von Drehstromumspannern können im Dreieck, in Stern und auch im Zickzack geschaltet werden. Ist die Übersetzung kleiner als 1 : 2, so kann der Umspanner auch in Sparschaltung ausgeführt werden, wobei die Ober- und Unterspannung eine gemeinsame Wicklung besitzen. Die gebräuchlichsten Schaltarten sind in Gruppen auf Tafel 1 zusammengefaßt.

Umspanner, die der gleichen Schaltgruppe angehören, arbeiten unter sich ohne weiteres bei Verbindung gleichnamiger Klemmen parallel, entsprechende Kurzschlußspannung und gleiches Leerlauf-Übersetzungsverhältnis vorausgesetzt.

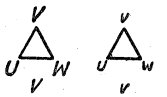
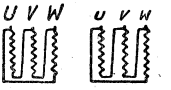
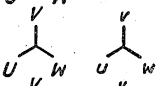
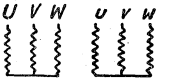
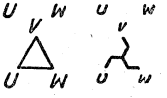
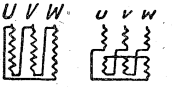
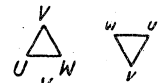
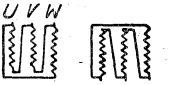
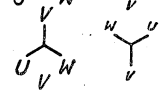
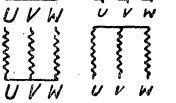
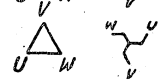
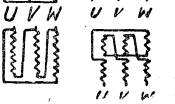
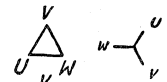
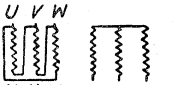
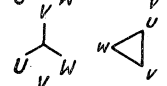
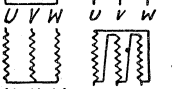
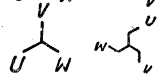
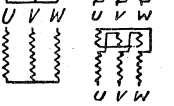
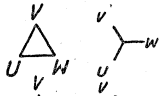
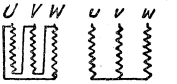
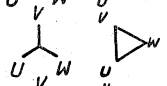
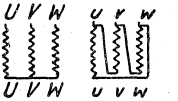
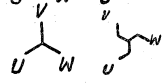
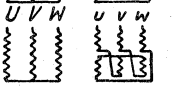
Von Umspannern verschiedener Schaltgruppen können nur die der Gruppe C und D parallel arbeiten, wenn die Verbindung ihrer Klemmen nach folgendem Schema erfolgt:

Anschluß der Sammelschienen	R S T Oberspannung	r s t Unterspannung
Schaltgruppe C_1 C_2 C_3	U V W	u v w
D_1 D_2 D_3 oder	U W V	w v u
D_1 D_2 D_3 oder	W V U	v u w
D_1 D_2 D_3 oder	V U W	u w v

III. Ausführungsformen.

Man unterscheidet Ölumspanner der **Hauptreihe** und Ölumspanner der **Sonderreihe.** Die Umspanner der Hauptreihe sind für Dauerbetrieb ausgelegt. Der Überlastbarkeit sind durch die Erwärmung Grenzen gesetzt, über die später noch einmal näher berichtet wird. Umspanner der Sonderreihe weisen besonders geringe Leerlaufverluste auf. Sie sind für solche Betriebe geeignet, in denen sie zwar dauernd unter Spannung stehen, aber nur verhältnismäßig kurze Zeit im Jahre ausgenutzt werden, z. B. in der Landwirtschaft, Zuckerindustrie usw. Hierbei dürfen die Temperaturen um 10° höher liegen, als in den VDE-Vorschriften für den normalen Betrieb vorgeschrieben ist.

Tafel 1. Normale Schaltgruppen von Drehstromumspannern nach den VDE-Regeln 0532/1934 RET.

		Vektorbild		Schaltbild	
		Ober-	Unter-	Ober-	Unter-
		spannung		spannung	
Schaltgruppe A	A_1				
	A_2				
	A_3				
Schaltgruppe B	B_1				
	B_2				
	B_3				
Schaltgruppe C	C_1				
	C_2				
	C_3				
Schaltgruppe D	D_1				
	D_2				
	D_3				

Bestimmte Drehstrom-Ölumspanner mit genormten elektrischen Daten werden **Einheitstransformatoren** der Hauptreihe HET 23 bzw. der Sonderreihe SET 23 genannt. Einheitstransformatoren der Form HET 23 werden für Leistungen von 5, 10, 20, 30, 50, 75 und 100 kVA, solche der Form SET 23 für 5, 10, 15, 25, 37,5 und 50 kVA gebaut. Die Oberspannungen betragen 5, 6, 10, 15 oder 20 kV. Die Oberspannungswicklung ist stets in Stern geschaltet und mit 2 Anzapfungen ± 4 v. H. versehen. Die Unterspannung beträgt 400 V oder wahlweise auch 231 V je nachdem, ob Zickzack- oder Sternschaltung vorliegt. Die Umschaltung von Zickzack (C 3) auf Stern (A 2 oder B 2) oder umgekehrt kann durch einfaches Umlöten an Ort und Stelle durchgeführt werden (Bild 7), jedoch müssen solche Änderungen am Leistungsschild des Umspanners kenntlich gemacht werden.

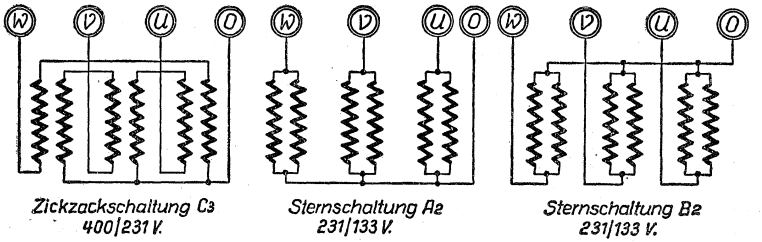


Bild 7. Umschaltung eines Umspanners von Zickzack- auf Sternschaltung oder umgekehrt.

Die übrigen nicht genormten Umspanner werden von der AEG mit Form ID und SID bezeichnet und können für jede gewünschte Übersetzung und verschiedene Schaltungen bis 1600 kVA hergestellt werden, wobei die Oberspannung 10 v. H. höher sein darf als die Nennspannung. Oberspannungsseitig wird der Umspanner mit 2 Anzapfungen ± 4 v. H. versehen.

Bei Stern/Stern-Schaltung ist der unterspannungsseitige Nullpunkt bis 450 V herausgeführt und bis 10 v. H. des Nennstromes belastbar. Bei Stern/Zickzack- oder Dreieck/Stern-Schaltung ist er auch über 450 V stets herausgeführt und mit dem vollen Nennstrom belastbar.

IV. Einrichtungen zum Regeln der Spannung.

Wie unter I. ausgeführt, werden die Umspanner mit Anzapfungen an der Oberspannungsseite ausgeführt, die aber nur eine Einregelung der Spannung im strom- und spannungslosen Zustand gestatten.

Um eine Spannungsregelung auch **unter Last** durchführen zu können, werden große Leistungsumspanner als Stufenumspanner mit Regelschaltwerken (Lastschalter und Stufenwähler) ausgeführt, die mit dem Umspanner zusammengebaut und motorisch betätigt werden. Hierdurch ist es möglich, die Starrheit der Spannung, die sonst den Umspanner vom Generator unterscheidet, zu beheben und eine Regelung der Spannung in ausgedehnten Netzen vorzunehmen. Diese Möglichkeit der Regelung ist bei den Ofenumspannern für metallurgische Zwecke (z. B. Lichtbogenöfen) wichtig.

Zur Regelung der Unterspannung bei Umspannern kleinerer Leistung werden getrennt aufgestellte zusätzliche Sparumspanner verwendet, die auch zum Spannungsausgleich in ausgedehnten Netzen z. B. auch auf den Masten der Überlandleitungen, dienen können.

Die AEG liefert für diese Zwecke einen **relaislosen Regler (Relo-Regler)**, der für Durchgangsströme von 50, 100 und 200 A bei 220 oder 380 V gebaut wird. Er arbeitet mit einer Spannungsgenauigkeit von etwa 1 v. H. Der Umspanner hat eine außenliegende Schaltspule, deren Gleitbahn blank ist. Auf dieser Kontaktbahn gleiten die

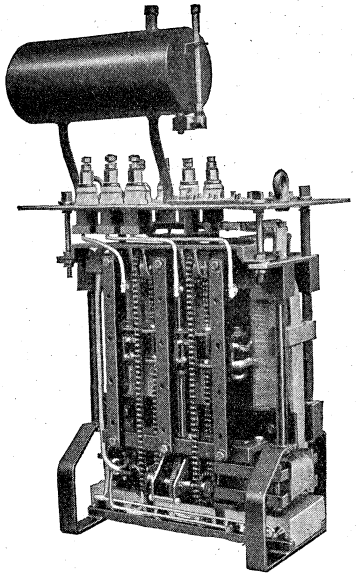


Bild 8. Relo-Regler, ohne Kasten.

beweglichen Kontaktteile, die durch den im Ölkasten des Umspanners untergebrachten Motor betätigt werden (Bild 8). Der Übergang von einer Schaltstufe zur nächsten erfolgt unter Zwischenschaltung eines ohmschen Widerstandes, so daß ein Kurzschluß zwischen den Stufen vermieden wird. Der Motor M ist als zweiphasiger Induktionsmotor mit Kurzschlußläufer ausgebildet (Bild 9). Die eine Phase erhält dauernd Strom, während die zweite (Regelphase) von einem spannungsabhängigen Steuerorgan gespeist wird, das aus Drosselspule und Kondensator gebildet wird, die der Regelphase bei Spannungserhöhung einen nacheilenden, bei Spannungssenkung einen voreilenden Strom zuführt. Bei eintretender Spannungsänderung erhält der Motor also einen Impuls im einen oder anderen Drehsinne und verstellt die Kontaktvorrichtung auf der Kontaktbahn der Wicklung. Durch das Fehlen jeder Art von Kontaktrelais arbeitet der Reloregler vollkommen betriebssicher und wartungsfrei.

Durch den Einbau sämtlicher Antriebs- und Regelteile in dem Ölkasten des Umspanners ist dieser Regler auch für die Verwendung im Freien geeignet (Bild 10).

V. Parallelbetrieb von Umspannern.

Parallelbetrieb von Umspannern bedeutet, daß sie sowohl primär als auch sekundär an den gleichen Sammelschienen liegen. Sind sie nur im Netz parallelgeschaltet, d. h. liegen zwischen den Umspannern Kabel oder Freileitungen, so brauchen die nachstehenden Bedingungen hinsichtlich Größe und Kurzschlußspannung nicht genau eingehalten zu werden.

Einwandfreies Parallelarbeiten gilt als erreicht, wenn die einzelnen Umspanner ihren Nennleistungen entsprechend belastet sind, wobei Abweichungen von ± 10 v. H. zulässig sind. Hierzu müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Gleiche Nennspannung primär und sekundär (gleiche Übersetzung im Leerlauf).
2. Gleiche Schaltgruppe (siehe unter II.)
3. Verbindung gleichnamiger Klemmen.
4. Gleiche Kurzschlußspannung, wobei Abweichungen von ± 10 v. H. vom Mittel der Kurzschlußspannungen zulässig sind.

Kurzschlußspannung ist die Spannung, die man einem Umspanner aufdrücken muß, um bei kurzgeschlossener Sekundärwicklung in der Primärwicklung den Nennstrom zu erhalten. Die Kurzschlußspannung hat für jeden Transformator eine fest-

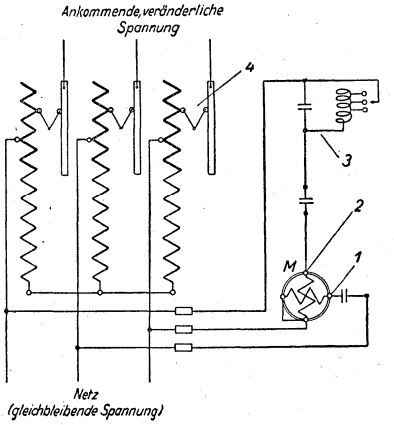


Bild 9. Schaltung des Relo-Reglers.

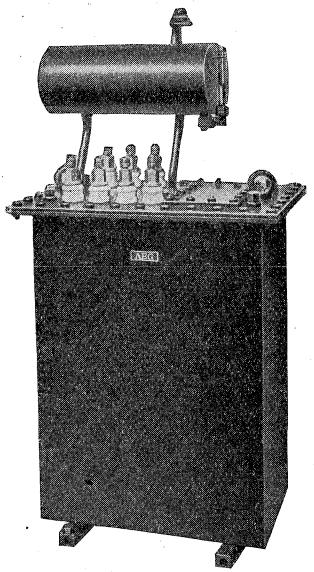


Bild 10. Relo-Netzregler für 50 und 100 A.

liegende Größe und beträgt bei kleinen und mittleren Verteilungsspannern 3···4,5 v. H. der Nennspannung (bei 75° an der Wicklung).

5. Das Verhältnis der Nennleistungen soll möglichst nicht größer sein als 3:1, und zwar ist stets für den kleineren Umspanner die größere Kurzschlußspannung zu empfehlen. Einheitstransformatoren und Umspanner mit genormten Kurzschlußspannungen sind so bemessen, daß sie ohne weiteres diesen Bedingungen hinsichtlich der Kurzschlußspannung entsprechen. Umspanner der Hauptreihe und Umspanner der Sonderreihe sollten nicht miteinander parallelarbeiten, weil der Umspanner der Sonderreihe dabei nicht voll ausgenutzt werden kann.

Wenn die Kurzschlußspannungen genau übereinstimmen, verteilt sich die Belastung im Verhältnis der Größe der Umspanner, vorausgesetzt, daß die Umspanner in unmittelbarer Nähe voneinander aufgestellt sind. Sollen zu bereits vorhandenen Umspannern neue hinzugestellt und parallelgeschaltet werden, so ist eine genaue Übereinstimmung nicht immer leicht zu erreichen. Bei größeren Abweichungen müssen dem Umspanner mit der kleineren Kurzschlußspannung besondere Drosselspulen vorgeschaltet werden, deren Größe durch die Differenz der Kurzschlußspannungen bestimmt ist. Um aber zu beurteilen, ob Drosselspulen nötig sind, muß man berechnen, wie sich die Lasten bei abweichenden Kurzschlußspannungen auf die ungleichen Umspanner verteilen. Der Umspanner mit der größten Kurzschlußspannung übernimmt stets den kleinsten Belastungsanteil.

Haben z. B. zwei Umspanner von je 100 kVA 3 v. H. bzw. 4 v. H. Kurzschlußspannung, so verteilt sich die Gesamtlast wie 4:3, d. h. wenn der Umspanner mit 3 v. H. Kurzschlußspannung 100 kVA aufgenommen hat, erhält der zweite erst 75 kVA, oder wenn 200 kVA aufgenommen werden sollen, müßte der erste 114,3 kVA, der zweite 85,7 kVA übernehmen. Der erste wäre also um 14,3 v. H. überlastet.

Kommen Umspanner verschiedener Leistung und verschiedener Kurzschlußspannung in Betracht, so ist die Rechnung unter Berücksichtigung der Leistung durchzuführen. Wenn z. B. ein Umspanner von 150 kVA mit 3 v. H., ein zweiter von 100 kVA mit 3,5 v. H. und ein dritter von 50 kVA mit 2,5 v. H. zusammenarbeiten sollen, so errechnet sich die resultierende Kurzschlußspannung u_k wie folgt, wobei $N = N_1 + N_2 + N_3 = 300$ kVA ist.

$$\frac{N}{u_k} = \frac{N_1}{u_{k\,1}} + \frac{N_2}{u_{k\,2}} + \frac{N_3}{u_{k\,3}}$$

$$\frac{300}{u_k} = \frac{50}{2{,}5} + \frac{100}{3{,}5} + \frac{150}{3}$$

$$u_k = \frac{300}{20 + 28{,}5 + 50} = 3{,}05 \text{ v. H.}$$

Soll die Gesamtleistung von 300 kVA aufgenommen werden, so würde sich die Last wie folgt verteilen:

$$50 \text{ kVA Umspanner mit } 50 \times \frac{3{,}05}{2{,}5} = 61 \text{ kVA}$$

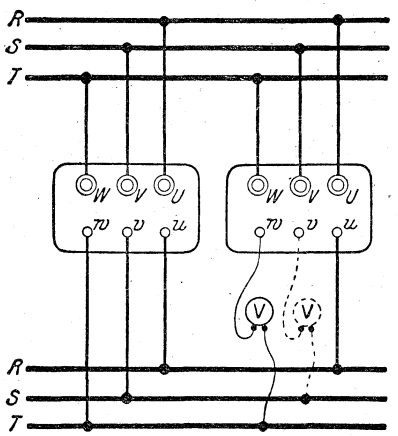
$$100 \text{ kVA Umspanner mit } 100 \times \frac{3{,}05}{3{,}5} = 87 \text{ kVA}$$

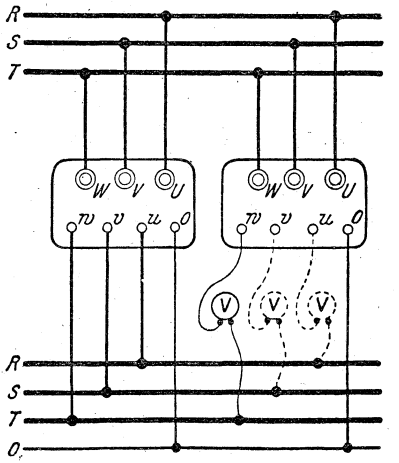
$$150 \text{ kVA Umspanner mit } 150 \times \frac{3{,}05}{3} = 152 \text{ kVA}$$

$$300 \text{ kVA}$$

Die Rechnung zeigt, daß der 50-kVA-Umspanner mit der kleinen Kurzschlußspannung von 2,5% um mehr als 20% überlastet werden würde, was mit Rücksicht auf die Erwärmung nicht mehr zulässig ist.

Bei der Inbetriebsetzung parallelgeschalteter Umspanner sind die mit gleichen Buchstaben versehenen Klemmen an die gleichen Sammelschienen anzuschließen. Da Verwechslungen zu Kurzschluß führen, muß stets vorher nachgeprüft werden, ob auch der Anschluß das richtige Ergebnis hat. Zu diesem Zweck wird auf der Unterspannungsseite zwischen den gleichnamigen Phasen eine Prüflampe oder ein Voltmeter angelegt. Beide müssen bei Anlagen ohne Nulleiter für die doppelte Betriebsspannung ausreichend sein, da diese bei fehlerhafter Schaltung auftreten kann. Hierbei müssen, wie Bild 11 zeigt, beide Umspanner in einer Phase miteinander verbunden sein, wenn zwischen den anderen beiden gemessen wird. Wenn zwischen allen drei Paaren gleicher Klemmen keine Spannung herrscht, ist die Schaltung richtig.





Schaltungen zum Ausprüfen der Phasengleichheit bei parallelgeschalteten Umspannern.

Bild 11. Für Anlagen ohne Nulleiter. Bild 12. Für Anlagen mit Nulleiter.

In Anlagen mit Nulleiter ist das Ausprüfen der Phasengleichheit nach Bild 12 vor zunehmen. Sowohl die Prüflampe als auch der Spannungsmesser müssen hierbei für die verkettete Spannung bemessen sein. Es wird in diesem Falle der Nullpunkt der Umspanner an die Nullschiene angeschlossen und dann zwischen den drei Phasen gemessen. Die Schaltung ist wieder dann richtig, wenn zwischen allen drei Paaren gleicher Klemmen keine Spannung herrscht.

VI. Umspanneröle.

Vorschriften für Schalter- und Umspanneröle.
(nach VDE 0370/1936)

Die VDE-Vorschriften für Schalter- und Umspanneröle beziehen sich im allgemeinen auf neues Öl, wie es unaufbereitet in Kesselwagen oder Eisenfässern von der Raffinerie angeliefert wird.

Näheres ist den angeführten Vorschriften selbst zu entnehmen. Wichtig ist der § 11. Er besagt, daß die elektrische Durchschlagsfestigkeit des dem in Betrieb befindlichen Umspanner oder Gerät entnommenen Öles, gemessen nach den Prüfvorschriften, im Mittel 80 kV/cm nicht unterschreiten soll. Ist die elektrische Festigkeit geringer, so muß das Öl gereinigt bzw. erneuert werden.

Die elektrische Festigkeit des getrockneten oder zum Einfüllen vorbereiteten Öles darf 125 kV/cm nicht unterschreiten.

Öluntersuchung.

Um festzustellen, ob das Öl den VDE-Vorschriften entspricht, ist am Boden des Umspanners nach ausreichendem Ablassen von Öl in einem sorgfältig gereinigten und vollkommen trokkenen Gefäß eine Ölprobe zu entnehmen und diese zu untersuchen.

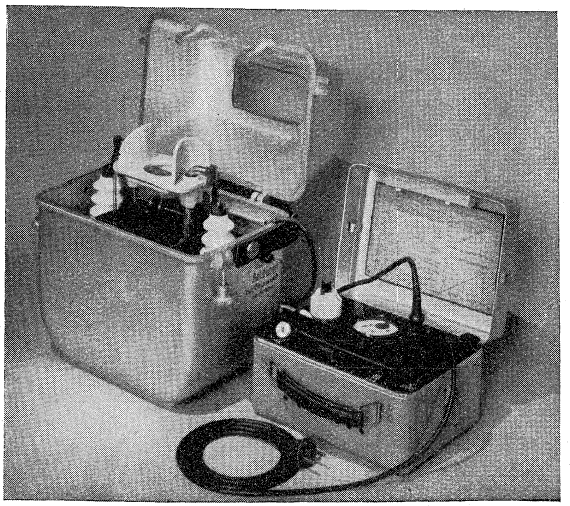


Bild 13. Tragbares Ölprüfgerät mit Regeleinrichtung.

Zur Bestimmung der Feuchtigkeit dient die Spritzprobe. Hierbei werden 5···10 cm^3 Öl in einem völlig trockenen Reagenzglase von 15···20 mm Weite über eine Flamme (Gas- oder Spiritusbrenner) bis auf über 130 °C schnell erhitzt. Hierbei geben sich geringe Spuren von Feuchtigkeit durch ein knackendes oder knisterndes Geräusch zu erkennen, und es erübrigt sich in diesem Falle die Untersuchung der elektrischen Festigkeit. Bei sehr feuchtem und schlammhaltigem Öl kann es vorkommen, daß das Öl aufschäumt und sich Wasserdampf am kalten Teile des Reagenzglases niederschlägt.

Die Durchschlagsfestigkeit wird auf einfache Weise mittels Ölprüfgeräten ermittelt, die die AEG in tragbarer Ausführung für 30 kV (Bild 13) und in fahrbarer Ausführung für 60 kV herstellt. Nähere Aufschlüsse über die Beimengung von Fremdstoffen sowie über den Grad der durch Alterung gebildeten Bestandteile ergibt die chemische Analyse. Öl, das nicht mehr den Vorschriften entspricht, muß aufbereitet werden.

Ölaufbereitung.

Die Trocknung und Reinigung des Öles geschieht in einer Ölaufbereitungsanlage, wie sie für diese Zwecke von der AEG besonders hergestellt wird. Das Öl wird hierbei am Boden des Umspanners durch den Ölablaßhahn abgesaugt und gelangt nach einer indirekten Beheizung mittels Heizöl durch eine Sprühdüse in feiner Verteilung in

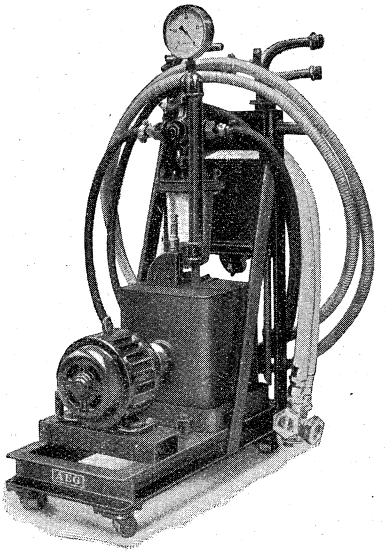


Bild 14. Faßsprühanlage, fahrbereit.

einen Vakuumkessel, in dem die Trocknung des Öles erfolgt. Mit Hilfe einer von einem Motor angetriebenen Pumpe wird das Öl durch einen Satz von faserfreien Fließpapieren gedrückt und oben in das Ölgefäß wieder zugefüllt. Bei sehr nassem Öl muß zunächst das am Boden befindliche Wasser abgelassen werden. Außerdem sollte in jedem Falle das Öl zuerst für sich allein getrocknet und dann erst der Umspanner nach einem der nachstehend beschriebenen Verfahren behandelt werden.

Feuchtes, jedoch nicht verunreinigtes Öl läßt sich auf einfache und billige Weise auf eine hohe Durchschlagsfestigkeit mit Hilfe der von der AEG hergestellten Faßsprühanlage bringen (Bild 14). Hierbei ist ein besonderer Öltank nicht erforderlich; der ganze Trockenvorgang kann mit zwei üblichen 400-Liter-Fässern durchgeführt werden. Die Vakuumpumpe saugt das Öl aus dem einen Faß über eine Sprühdüse in das andere Faß. Auf Wunsch kann diese Faßsprühanlage auch mit einer Filterpresse ausgerüstet werden.

VII. Behandlung von Umspannern.

Auspacken und Untersuchen.

Die mit Ölfüllung betriebsfertig versandten Umspanner sind vor der Inbetriebsetzung daraufhin zu untersuchen, ob Beschädigungen durch die Beförderung vorgekommen sind. Eine Öltrocknung ist unnötig, wenn die Umspanner unmittelbar nach ihrem Eintreffen in Betrieb gesetzt werden können. Sind sie jedoch vor Inbetriebnahme längere Zeit Witterungseinflüssen ausgesetzt gewesen, so ist zur Sicherheit am Boden des Umspanners eine Ölprobe zu entnehmen und diese auf Feuchtigkeit zu untersuchen, worüber oben im Abschnitt über Öluntersuchung nähere Ausführungen gemacht worden sind.

Zu jedem Umspanner, der umschaltbar oder für mehrere Übersetzungsverhältnisse eingerichtet ist, wird ein Schaltplan geliefert, nach dem die Schaltung herzustellen ist. Bevor der Umspanner angeschlossen wird, ist zu prüfen, ob die Übersetzung, die bei der Ablieferung des Umspanners eingestellt wurde, auch den tatsächlichen Verhältnissen am Ort der Inbetriebnahme entspricht und der Umschalter auf der richtigen Schaltstufe steht.

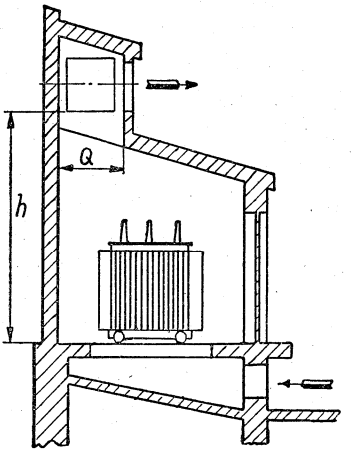


Bild 15. Umspannerkammer mit Entlüftung.

Aufstellung und Inbetriebnahme.

Bei der Aufstellung der Umspanner ist zu beachten, daß der Kessel allseitig genügend Abstand von den Wänden besitzt, so daß die

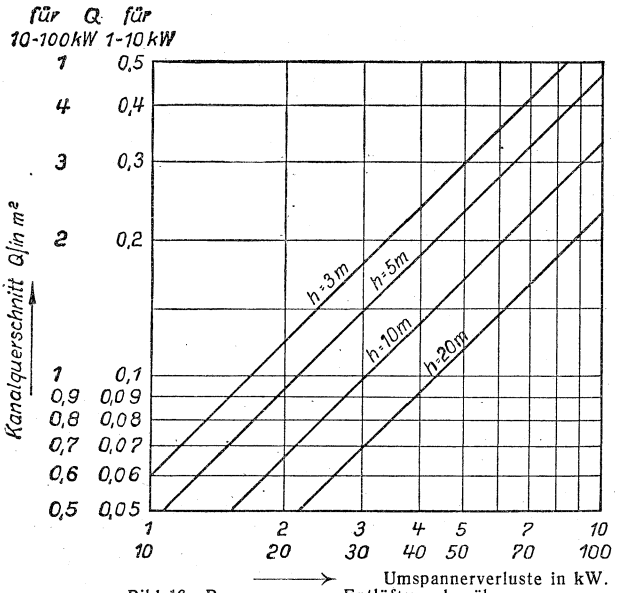


Bild 16. Bemessung von Entlüftungskanälen.

Wärme gut von den Kastenwandungen an die Luft abgegeben werden kann. Für gute Lüftung der Umspannerkammern (Bild 15) ist unbedingt Sorge zu tragen, wobei je kW Verlust eine Frischluftmenge von 2,5—3,0 m³/min von etwa 20° C erforderlich ist. Für verschiedene Höhenunterschiede zwischen Luft-Ein- und Austrittskanal kann als erster Anhaltspunkt der erforderliche Kanalquerschnitt der Kurventafel in Bild 16 entnommen werden.

Der Zuluftkanalquerschnitt ist etwa 8 v H. kleiner zu wählen. Trockenumspanner dürfen nicht in feuchten Räumen aufgestellt werden und müssen von Zeit zu Zeit am besten mittels trockener Druckluft gereinigt werden.

Bei Umspannern mit getrennt angeordnetem Ausdehnungsgefäß muß der Boden des Ausdehnungsgefäßes etwa 50—120 mm höher liegen als der Deckel des Umspanners. Ferner ist vor Inbetriebnahme festzustellen, ob das Öl bis zur Marke des niedrigsten Ölstandes bzw. bis zur Ölprobierschraube im Umspanner oder im Ausdehnungsgefäß angefüllt ist und ob der Hahn in der Verbindungsleitung zwischen Kasten und Ausdehnungsgefäß offen ist. Danach sind die Isolatoren durch die Entlüftungsschrauben im Isolatorbolzen zu entlüften.

Wartung.

Die Ölumspanner bedürfen während des Betriebes keiner Wartung. Sie sind jedoch gelegentlich auf genügende Ölfüllung nachzusehen. In größeren Zeitabständen ist am Öl-

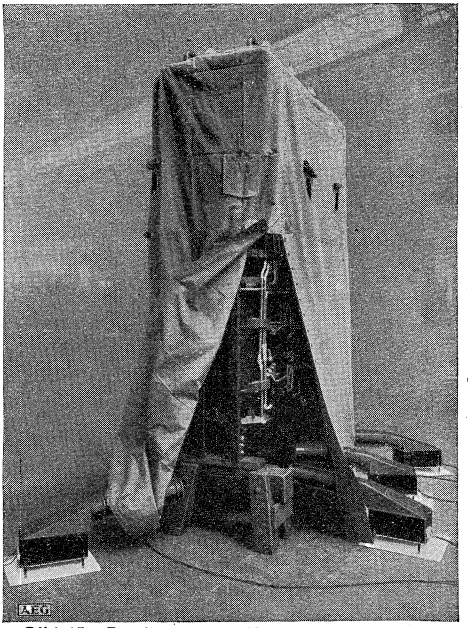


Bild 17. Trocknung von Umspannern mittels Heißluftöfen.

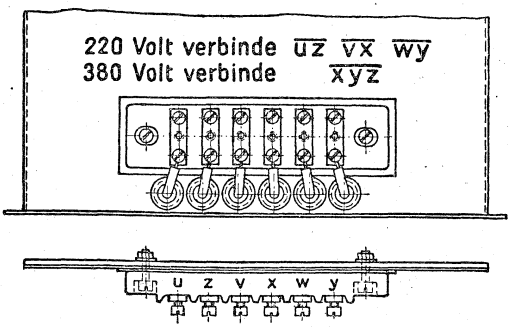


Bild 18. Anschlüsse der Heißluftöfen.

ablaßhahn eine Ölprobe zu entnehmen, um den Grad der Trübung festzustellen.

Genauere Angaben über die Anforderungen, die an gebrauchsfähiges Umspanneröl gestellt werden müssen, sind oben im Abschnitt über Umspanneröl aufgeführt.

Trocknen.

Besteht die Gefahr, daß Kern, Wicklung und Isolation von Umspannern durchfeuchtet sind, so muß für die Trocknung dieser Teile gesorgt werden. Steht an Ort und Stelle ein Vacuumtrockenofen nicht zur Verfügung, so werden Kern und Wicklung getrennt vom Öl wie folgt getrocknet.

Die genannten Teile werden mit aufgesetztem Deckel auf eine tragfähige Unterlage von 30—40 cm Höhe gestellt und durch Heißluftöfen bei einer Temperatur von 80—100° getrocknet. Die behelfsmäßige Heizkammer (Bild 17) stellt man zweckmäßigerweise aus feuersicher imprägnierten Zeltplanen her, die durch Anknöpfvorrichtungen miteinander verbunden werden. Am Umspannerdeckel selbst oder an der Verbindungskante zwischen Heizkammer und Deckel sind mehrere kleine Luftöffnungen anzubringen, durch die die mit Wasserdämpfen gesättigte warme Luft entweichen kann.

Der Leistungsverbrauch beträgt je Ofen etwa 2,4 kW, der Anschluß kann an 380 oder an 220 V Drehstrom erfolgen (Bild 18), wobei jeder Ofen dreipolig abgesichert werden muß. Für die Trocknung ist die in nachstehender Tafel 2 angegebene Anzahl Öfen erforderlich. Die Dauer der Trocknung schwankt je nach der Größe der Umspanner und dem Grade der Durchfeuchtung zwischen 48 und 72 Stunden. Sehr feuchte Umspanner sind noch länger zu trocknen.

Umspanner Leistung bis kVA	Zahl der Öfen Stück	Zahl der Zeltplane Stück
500	3— 4	2
1000	5— 6	5
3000	9—10	8

Der getrocknete Umspanner ist dann sofort in das gereinigte und getrocknete Öl zu setzen und hierbei selbst kräftig hin und her zu bewegen, um alle Luft aus der Wicklung auszutreiben. Nach dem Einsetzen ist den Umspannern eine Ruhezeit von etwa 48 Stunden zu geben, damit etwa noch vorhandene Luftblasen sich im Öl auflösen können.

VIII. Erwärmung und Überlastbarkeit von Umspannern.

Erwärmung.

Es wird angenommen, daß bei dem in unseren Breiten herrschenden Klima die Temperatur der Umgebung (Raumtemperatur) 35°C nicht überschreitet. Bei höheren Raumtemperaturen darf die Erwärmung, d. i. die Übertemperatur der Wicklung, nur entsprechend niedriger zugelassen werden. Die Erwärmung von Kupferwicklungen wird aus der Widerstandszunahme nach folgender Formel berechnet:

$$\theta = \frac{R_{warm} - R_{kalt}}{R_{kalt}} (235 + \vartheta_{kalt}) - (\vartheta_{Kühlmittel} - \vartheta_{kalt})$$

Hierin bedeutet:

ϑ ..... die Erwärmung in °C,
R_{kalt} ..... den Widerstand der kalten Wicklung,
R_{warm} ..... den Widerstand der warmen Wicklung,
ϑ_{kalt} ..... die Temperatur der kalten Wicklung,
$\vartheta_{Kühlmittel}$ ..... die Temperatur des Kühlmittels.

Die Messungen der Widerstandszunahme sind unmittelbar nach dem Ausschalten vorzunehmen.

Hierbei dürfen Spulen, die mit Baumwolle, Seide, Papier oder ähnlichen Faserstoffen umwickelt und getränkt oder mit Füllmasse isoliert sind, eine Grenzerwärmung von 60°, sofern sich die Wicklungen unter Öl befinden von 70°, annehmen. Für das Öl in der obersten Schicht ist eine Grenzerwärmung von 60° zugelassen.

Weitere Einzelheiten siehe RET.

Überlastbarkeit.

1. Grenzerwärmung der Wicklung 70°.

Die Umspanner werden so bemessen, daß sie auch nachstehende Überlastungen zulassen, ohne die angegebenen Grenzwerte der Erwärmung zu überschreiten.

a) Umspanner der Hauptreihe (Form HET 23 und Form ID) im Anschluß an einen zehnstündigen Betrieb mit halber Nennleistung:
10 v. H. während 3 Stunden
oder 30 v. H. während 1 Stunde.

b) Umspanner der Sonderreihe (Form SET 23) im Anschluß an Dauerbetrieb bei Nennleistung:
60 v. H. dauernd,
oder 75 v. H. während 3 Stunden,
oder 110 v. H. während 1 Stunde.

2. Grenzerwärmung der Wicklung 80°.

Diese Wicklungserwärmung von 80° ist nur zulässig, wenn die nachstehenden Überlastungen höchstens 500 Stunden im Jahre auftreten.

Dauer der Überlastung	Zulässige Überlastung in v. H. der Nennleistung							
	nach Dauervollast		nach Dauerhalblast		nach Dauerleerlauf		vom kalten Zustand aus*)	
	Hauptreihe	Sonderreihe	Hauptreihe	Sonderreihe	Hauptreihe	Sonderreihe	Hauptreihe	Sonderreihe
1 min	150	500	270	550	330	600	350	650
2 min	90	340	170	370	200	400	250	450
3 min	70	280	140	300	160	330	200	370
5 min	60	240	115	260	130	280	170	300
10 min	50	210	90	220	100	230	130	250
20 min	45	180	75	190	85	200	110	220
30 min	40	170	65	175	75	180	95	210
1 h	35	150	55	155	60	160	75	180
2 h	28	125	40	130	45	135	55	150
3 h	25	115	30	120	35	125	40	130
4 h	22	110	27	115	30	115	35	120
6 h	20	105	23	105	25	105	27	110
12 h	20	100	20	100	20	100	20	100

*) Hierunter wird die Temperatur eines vom Netz abgeschalteten und bis zur Außentemperatur abgekühlten Umspanners verstanden.

GLEICHRICHTER

Allgemeines.

Für die Umformung von Ein- und Mehrphasen-Wechselströmen in Gleichstrom werden heute hauptsächlich Gleichrichter verwendet. Die Gleichrichter weisen gegenüber den Maschinenumformern folgende Vorteile auf:

1. Hoher Wirkungsgrad auch bei Teillast und geringe Leerlaufverluste, wodurch sich ein guter Jahreswirkungsgrad erzielen läßt.
2. Die Möglichkeit, die Leistung einer Anlage ohne Verschlechterung des Wirkungsgrades zu unterteilen (Betriebsreserve).
3. Schnelle und einfache Inbetriebsetzung, sofortige Betriebsbereitschaft, kein Anlassen, Polarisieren oder Synchronisieren erforderlich, daher gute Eignung für Fernsteuerung und selbsttätigen Betrieb.
4. Keine dauernde Wartung, da keine dem Verschleiß unterliegenden umlaufenden Teile vorhanden sind.
5. Geringes Gewicht, daher keine besonderen Fundamente, Aufstellung auf normalen Decken und in Obergeschossen möglich. Daher auch für fahrbare Anlagen besonders geeignet.

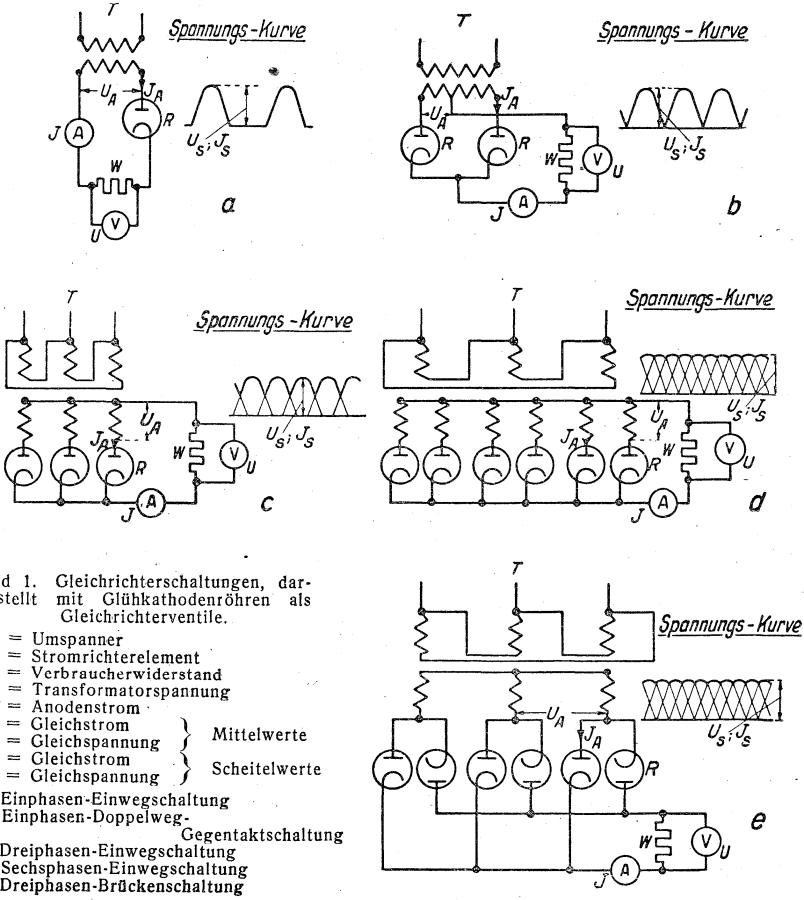


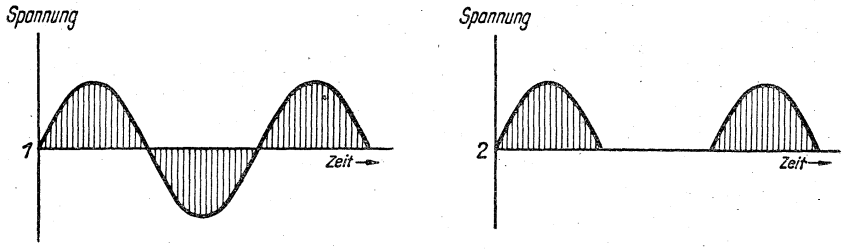
Bild 1. Gleichrichterschaltungen, dargestellt mit Glühkathodenröhren als Gleichrichterventile.

T = Umspanner
R = Stromrichterelement
W = Verbraucherwiderstand
Ua = Transformatorspannung
Ja = Anodenstrom
J = Gleichstrom } Mittelwerte
U = Gleichspannung }
Js = Gleichstrom } Scheitelwerte
Us = Gleichspannung }

a) Einphasen-Einwegschaltung
b) Einphasen-Doppelweg-Gegentaktschaltung
c) Dreiphasen-Einwegschaltung
d) Sechsphasen-Einwegschaltung
e) Dreiphasen-Brückenschaltung

6. Geringe Geräusche im Betrieb. Die Gleichrichter können daher in bewohnten Gebäuden aufgestellt werden.

Alle Arten von Gleichrichtern wirken als **elektrische Ventile,** d. h. sie lassen den elektrischen Strom nur in einer bestimmten Richtung hindurch. Sie wirken als Schaltelemente, die sich in einer Stromrichtung leiterähnlich verhalten, während sie für die entgegengesetzte Stromrichtung als Nichtleiter zu betrachten sind. Legt man ein derartiges Schaltelement (Ventil) in einen Wechselstromkreis (Bild 1a), so wird nur dann ein Stromfluß zustande kommen, wenn dem Ventil eine bestimmte Polarität zugeordnet ist, d. h. es wird nur während einer Halbperiode ein Strom fließen, weil das Ventil in der nächsten Halbperiode wie ein geöffneter Schalter wirkt. Der von einem Gleichrichter gelieferte Strom setzt sich demnach gemäß Bild 2 aus einzelnen



Wechselspannung Einphasig gleichgerichtete Spannung

Bild 2. Spannungskurven.

Stromimpulsen zusammen, die immer dieselbe Richtung haben. Durch geeignete Schaltmaßnahmen unter Benutzung mehrerer solcher Ventile lassen sich auch beide Halbwellen ausnutzen. Bei **Einphasennetzanschluß** benutzt man hierzu entweder einen Umspanner mit Mittelanzapfung und zwei Ventile in der Doppelweg- oder Gegentaktschaltung derart, daß jede Umspannerhälfte während einer Halbperiode Strom liefert (Bild 1b), oder vier Ventile in der Zweiphasen-Brückenschaltung, die ebenfalls beide Halbwellen ausnutzt.

Zur Gleichrichtung von Mehrphasenströmen kann ein sekundär in Stern geschalteter Umspanner mit einer entsprechenden Anzahl von Ventilen verwendet werden. Bild 1c zeigt z. B. die Anordnung bei der Dreiphasen-Einwegschaltung. In dieser werden nur die Halbwellen einer Richtung zur Gleichstrombildung ausgenutzt, die sich aber infolge der um 120° verschobenen Phasen ebenfalls zu einem Gleichstrom zusammensetzen. Die Dreiphasen-Brückenschaltung (Bild 1e) erfordert zwar die doppelte Anzahl von Schaltelementen, also 6 Stück, hat aber den Vorteil der größeren Gleichmäßigkeit des Gleichstromes, da beide Halbwellen jeder Phase ausgenutzt werden. Bei der Sechsphasen-Einwegschaltung kommen ebenfalls 6 Ventile zur Anwendung, wobei die Phasenabweichung gegeneinander nur 60° beträgt. Bild 1d veranschaulicht diese Schaltung.

Der durch Gleichrichter gelieferte Strom weist je nach der verwendeten Schaltung eine mehr oder weniger große Welligkeit auf. Mit wachsender Phasenzahl des gleichzurichtenden Wechselstromes nimmt die Welligkeit ab. Bei höheren Anforderungen an Gleichmäßigkeit des Gleichstromes wandelt man deshalb den zur Verfügung stehenden Dreiphasenstrom vor der Gleichrichtung in einem Sonderumspanner in einen Strom mit 6 oder mehr Phasen um.

In reinen Kraftbetrieben oder bei Gleichrichtern zum Laden von Sammlern (Akkumulatoren) braucht man gewöhnlich nicht über die drei Phasen des ankommenden Drehstromes hinauszugehen. Bei größeren Anlagen, in welchen die Höhe des Gleichstromes ohnehin den Aufwand von mindestens 6 Anoden erfordert, wählt man eine 6phasige Umspannerschaltung, deren Gleichstrom für die meisten Betriebsfälle so gut ausgeglichen ist, daß man die Schaltung auch bei höheren Anodenzahlen im all-

gemeinen nicht ändert. In manchen Fällen verlangen an das Netz angeschlossene Rundfunkanlagen oder Bogenlampen, ferner benachbarte Fernsprechleitungen eine noch bessere Glättung des Gleichstromes. Diesen Anforderungen kann man durch den Einbau von **Glättungseinrichtungen** in jeder gewünschten Weise entsprechen. In der einfachsten Form besteht eine solche Einrichtung aus einer Drosselspule in der Gleichstromleitung, welche besonders in Verbindung mit einer vorhandenen, dem Gleichrichter parallel geschalteten Sammlerbatterie bereits recht wirksam ist, da sie überlagerten Wechselströmen einen erhöhten Widerstand entgegensetzt. Die parallelgeschaltete Batterie dagegen stellt einen verhältnismäßig kleinen Widerstand dar, der die Oberwellenströme vom Netz fernhält. Verbessern läßt sich diese Einrichtung dadurch, daß man an Stelle der Sammlerbatterie Drosselspulen und Kondensatoren zwischen die beiden Gleichstrompole schaltet, die auf die störenden Frequenzen abgestimmt sind. Diese Anordnung wirkt für die störenden Oberwellenströme wie ein Kurzschluß, während sie den Gleichstrom nicht durchläßt. An Rundfunk-Netzanschlußgeräten machen sich Störungen durch Oberwellen in der Gleichspannung durch einen gleichmäßigen Brummton bemerkbar.

In größerer Nähe eines Quecksilberdampf-Gleichrichters können unter Umständen hochfrequente Lichtbogenschwingungen rundfunkstörend auftreten; doch sind sie selten. Die Möglichkeit dazu ist bei gittergeregelten Gleichrichtern (siehe weiter unten) eher gegeben, besonders, wenn die Spannung ziemlich weit herabgeregelt wird. Störungen hochfrequenter Art, die sich in einem prasselnden, ungleichförmigen Geräusch äußern, können auch an Empfängern auftreten, die nicht an das Gleichstromnetz angeschlossen sind, besonders dann, wenn ihre Antennen von den Starkstromleitungen beeinflußt werden können. Abhilfe ist leicht und billig möglich durch Parallelschalten von kleinen Kondensatoren zum Lichtbogenweg des Gleichrichters.

Treten Störungen der einen oder der anderen Art auf, so sind unter möglichst ausführlicher Angabe der Schaltung, der beobachteten Erscheinungen und ihres Zusammenhanges mit dem jeweiligen Betriebszustande der Gleichrichteranlage Abhilfevorschläge beim Gleichrichter-Fachmann einzuholen. In vielen Fällen ist es auch möglich, durch geringfügige Änderungen beim Rundfunkempfänger oder in der gestörten Fernsprechanlage die gewünschte Besserung zu erzielen.

Den verschiedenen Anforderungen und Leistungen entsprechend, sind mehrere Arten von Gleichrichtern zu unterscheiden:

Trockenplatten-Gleichrichter.

Sie werden hauptsächlich verwendet bis zu 80 V und bis zu mehreren 1000 A.

Trockengleichrichter beruhen auf der Ventilwirkung zwischen einer Selenoberfläche und einer Gegenelektrode aus Metall.

Diese Gleichrichterelemente werden in sehr einfacher Weise und mechanisch besonders widerstandsfähig so hergestellt, daß man auf die Selenschicht, die auf einer vernickelten Eisenscheibe aufgebracht ist, die metallische Gegenelektrode aufspritzt, so daß die vernickelte Eisenscheibe, der Träger der Selenschicht, und die Gegenelektrode ein mechanisch untrennbares Element bilden. Man kann mit solchen Gleichrichterelementen durch Hintereinander- und Parallelschaltung an sich beliebige Leistungen, Spannungen und Stromstärken erreichen. Die oben angeführten Grenzen für die Anwendung der Trockengleichrichter sind nur aus wirtschaftlichen Rücksichten gegeben. Das Hauptanwendungsgebiet der Trockengleichrichter liegt bei den niedrigeren Spannungen, für die Lichtbogengleichrichter nicht mehr wirtschaftlich sind. Der Trockengleichrichter hat einen Spannungsabfall von etwa 1,2 V je Zelle, der multipliziert mit dem Strom den Verlust in der Zelle ergibt. Jede Zelle kann je nach Größe eine effektive Spannung von 14 bis 18 V sperren. Die damit erreichte Gleichspannung läßt sich nicht allgemein angeben, weil sie nicht nur von der Zahl der hintereinandergeschalteten Zellen, sondern auch von deren Schaltung abhängt. Der Wirkungsgrad ist unabhängig von der Betriebsspannung, da ja die Zahl der hintereinandergeschalteten Zellen proportional der gewünschten Spannung ist und damit auch der

Spannungsabfall im Gleichrichter. Beim Lichtbogengleichrichter ist dagegen der Spannungsabfall praktisch gleich bei verschiedenen Spannungen und der Wirkungsgrad ist daher dort um so besser, je höher die Betriebsspannung ist.

Besondere Vorteile des Trockengleichrichters sind seine vollkommene Geräuschlosigkeit, seine Dauerhaftigkeit und Unempfindlichkeit gegen Überlastungen, die besonders leichte Unterbringung der Trockengleichrichterelemente, die zu verschiedenen recht zweckmäßigen Sonderbauarten geführt hat, z. B. für Batterieladung, Speisung von Magneten, Speisung von elektrolytischen Bädern, Betrieb von Bogenlampen, für Schweißzwecke, für die Versorgung einzelner Gleichstromabnehmer bei der Umstellung von Gleichstrom auf Wechselstrom und für die Speisung von Gleichstromanlagen der Fernmeldetechnik, besonders in Sende- und Empfangsanlagen der drahtlosen Fernmeldetechnik.

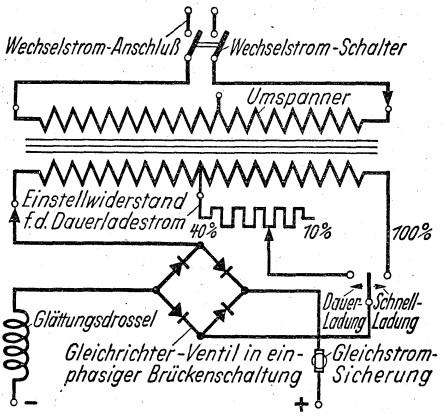


Bild 3. Stromlauf eines Trockengleichrichters in einphasiger Brückenschaltung, umschaltbar von überwachter Dauerladung auf Schnelladung.

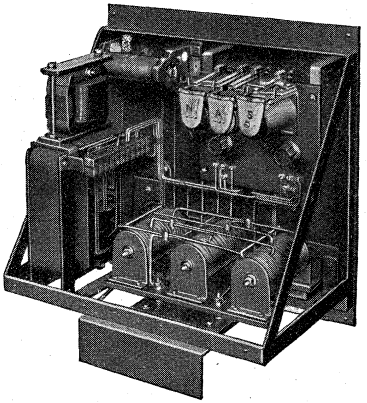


Bild 4. Trockengleichrichter für selbstregelnde Dauerladung mit Relaisschaltung.

Bild 3 veranschaulicht die Schaltung eines für überwachten Dauerladebetrieb ausgelegten Trockengleichrichters, wobei die Anpassung des Dauerladestromes an den Verbraucherstrom der Batterie durch Einstellung eines Widerstandes erfolgt. Selbsttätige Anpassung des Dauerstromes wird durch Regeldrosselspulen oder Spannungsrelais erreicht. Bild 4 gibt einen Gleichrichter für selbstregelnde Dauerladung mit Spannungsrelais wieder.

Lichtbogengleichrichter.

Metalle oder sonstige leitende Stoffe geben im Glühzustand an den sie umgebenden Raum negativ geladene Elektrizitätsteilchen (Elektronen) ab, man sagt, sie emittieren. Stellt man einem solchen Stoff einen kalten Leiter gegenüber und gibt diesem ein positives Potential, so wird dieser die Elektronen anziehen. Da nun aus dem glühenden Werkstoff immer neue Elektronen emittiert werden, kommt ein Stromfluß zwischen beiden, Elektroden genannten Leitern zustande. Erhält der zweite Leiter jedoch ein negatives Potential gegenüber dem ersten, so wird er die Elektronen abstoßen, d. h. es kommt kein Stromfluß zustande. Ein solches Schaltelement wirkt also bei der einen Polarität stromdurchlässig, in der entgegengesetzten stromsperrend, bildet also einen Gleichrichter. Man bezeichnet den glühenden Leiter mit Kathode, den anderen mit Anode. Beim Gleichrichter ist die Kathode der positive Pol. Bei Zutritt von Luft würde

1. die heiße Elektrode (die Kathode) sehr bald verbrennen, und
2. die Elektronen einen so großen Widerstand an den Luftteilchen finden, daß nur ein sehr kleiner Strom zustande käme.

Die Elektroden werden deshalb in ein luftleeres Gefäß eingeschlossen. Bringt man nun in ein derartiges Gefäß Metalldämpfe oder Edelgase von geringem Druck, so werden diese beim Durchgang der Elektronen selbst leitend. Sie werden ionisiert und ermöglichen einen sehr starken Stromfluß zwischen Kathode und Anode.

Nach diesen Grundsätzen arbeiten die folgenden Gleichrichterarten, die sich hauptsächlich durch den Werkstoff der Kathode voneinander unterscheiden.

Glühkathoden-Niederspannungs-Gleichrichter mit Edelgasfüllung für Leistungen von 1 . . . 120 A bei 20 . . . 250 V.

Als Entladungsgefäß dient eine Röhre, die einer Rundfunkröhre mit größeren Abmessungen ähnelt. Die direkt oder indirekt beheizte Glühkathode besteht aus einem Werkstoff hoher Elektronenemission und ist durch ihre Bauart gegen Durchbrennen möglichst gesichert. Eine Edelgasfüllung (Argon) setzt infolge der niedrigen Ionisationsspannung den Spannungsabfall im Gegensatz zu Hochvakuum-Röhren auf den Wert von 10 . . . 15 V herab, so daß sich ein günstiger Wirkungsgrad ergibt.

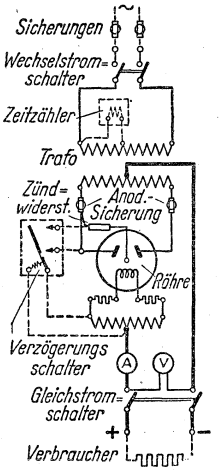


Bild 5. Stromlauf eines in einphasiger Gegentaktschaltung arbeitenden Glühkathoden-Gleichrichters.

Glühkathoden - Gleichrichter sind im Betrieb unabhängig von der Außentemperatur, zünden selbsttätig und benötigen keine Wartung.

Für Drehstrom wird eine Mehrfach-Röhrenschaltung mit einer Röhre in jeder Phase ausgeführt, so daß bei Ausfall einer Röhre der Gleichrichter mit $^2/_3$ Leistung weiterarbeitet.



Bild 6. Frontansicht eines Glühkathoden - Gleichrichters mit drei Ladekreisen und verlustloser feinstufiger Regeleinrichtung.

Diese Gleichrichter eignen sich besonders für die Ladung von Akkumulatoren-Batterien, mit dem Ladeschalter Bauart Pöhler für Elektrofahrzeug-Batterien, als Vielfachlader (Bild 6) für gewerbliche Ladestationen, sowie für den Betrieb von Kinolampen und Büromaschinen.

Glühkathoden-Hochspannungs-Gleichrichter mit Quecksilberdampffüllung von 1...50 A bei 1000...30000 V.

An Stelle des Edelgases enthalten die Entladungsgefäße eine bestimmte Menge Hg, das bei der Betriebstemperatur verdampft. Der Spannungsabfall (Verlust) sinkt auf etwa 15 V, so daß sich ein guter Wirkungsgrad ergibt. Mit Rücksicht auf eine hohe Spannungsfestigkeit in der entgegengesetzten Stromrichtung (Sperrphase) werden die Röhren nur einanodig ausgeführt, und zwar sowohl ohne als auch mit Steuergitter zwischen Kathode und Anode zur Beeinflussung des Stromdurchganges durch die Röhre zwecks Regelung der Gleichstromleistung.

Die Anwendung der Hochspannungs-Glühkathoden-Gleichrichter erstreckt sich auf alle Gebiete der Gleichstrom-Hochspannungstechnik, wie Sendeanlagen, Prüfeinrichtungen u. dgl.

Quecksilberdampf-Gleichrichter mit flüssiger Kathode. Sie werden für mittlere bis zu den höchsten Leistungen ausgeführt.

I. Aufbau

Der Verwendung von Glühkathodengleichrichtern für größere Stromstärken stehen heute noch technische und wirtschaftliche Schwierigkeiten entgegen. Man benutzt deshalb an Stelle der Glühkathode, die immerhin eine begrenzte Lebensdauer hat, eine Kathode aus flüssigem Quecksilber, das an dem Ansatzpunkt des Lichtbogens, dem sogenannten Kathodenfleck, auf Weißglut erhitzt wird und verdampft. Da das verdampfte Quecksilber sich an den gekühlten Wänden des Gefäßes wieder niederschlägt und zur Kathode zurückfließt, erneuert sich die Kathode von selbst immer wieder. Um zum erstenmal die erforderliche hohe Temperatur des Kathodenfleckes zu erzielen, d. h. den Gleichrichter zu zünden, wird ein Abreißfunke zwischen einer beweglichen Tauchelektrode (Zündanode) und dem Quecksilberspiegel erzeugt.

Diese Quecksilberdampf-Gleichrichter werden fast ausschließlich mit mehreren

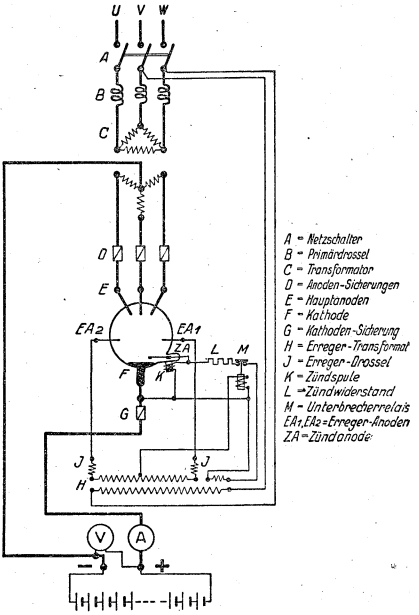


Bild 7. Stromlauf eines dreiphasigen Quecksilberdampf-Gleichrichters für Batterieladung.

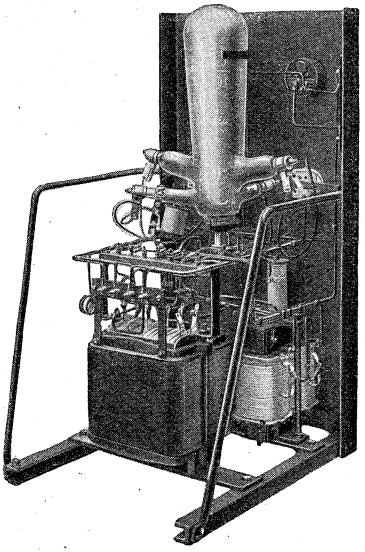


Bild 8.
Innenaufbau eines Quecksilberdampf-Kleingleichrichters für Batterieladung.

Anoden, die aus Graphitzylindern bestehen, und einer gemeinsamen Kathode, die den Pluspol bildet, ausgeführt. Um den Brennfleck auf der Kathode auch dann aufrechtzuerhalten, wenn der Betriebsstrom des Gleichrichters zeitweise unterbrochen wird, erhalten die Gleichrichter außer den Hauptanoden auch noch Hilfsanoden (Erregeranoden), die von einem Hilfsstromkreis gespeist werden (Bild 7).

Da im Gegensatz zu den Glühkathoden-Hochspannungs-Gleichrichtern bei den Quecksilberdampf-Gleichrichtern das Quecksilber selbst die Kathode bildet, muß dieses immer im Überschuß vorhanden sein. Um aber trotzdem den Quecksilberdampfdruck nicht zu hoch werden zu lassen, muß man durch besonders sorgfältige Kühlung dafür sorgen, daß sich der überschüssige Quecksilberdampf immer wieder an den Gefäßwänden niederschlägt und zur Kathode zurückfließt.

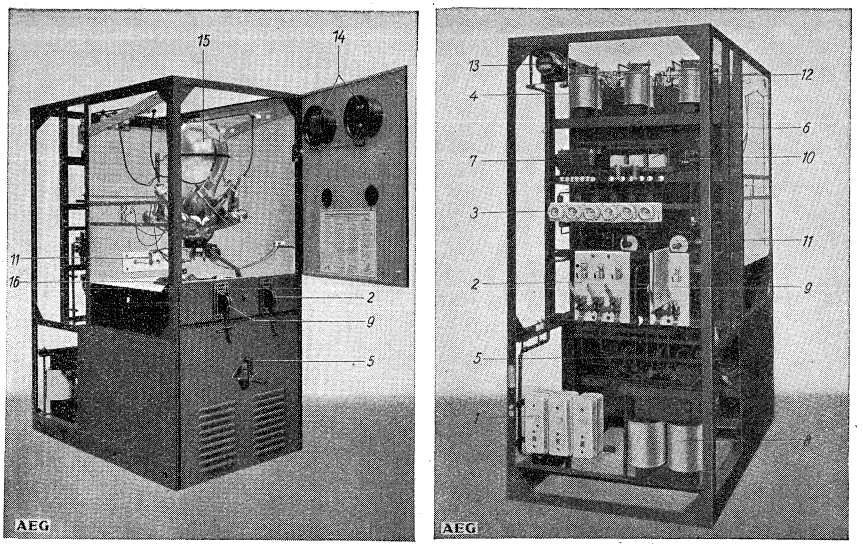


Bild 9. Größerer Glasgleichrichter (100 . . . 350 A, 500 V) mit Reglung der Gleichspannung durch eingebauten Regelumspanner mit Regelschalter (Hand-, wahlweise selbsttätiger Betrieb).
1 Überspannungsableiter auf der Drehstromseite. 2 Drehstromtrennschalter. 3 Anodensicherungen. 4 Anodendrosselspulen. 5 Regelumspanner mit Regelschalter. 6 Erregerdrosselspulen. 7 Erregerumspanner. 8 Gleichstromdrosselspule. 9 Gleichstromtrennschalter. 10 Zündschalter. 11 Gleichstromsicherung. 12 Silitwiderstände parallel zu den Induktivitäten. 13 Brennstundenzähler. 14 Gleichstrom-Spannungs- und Strommesser. 15 Glaskörper. 16 Lüfter.

Bei zu hohem Dampfdruck verliert nämlich der Gleichrichter seine Ventilwirkung, das Gefäß wird auch in der Sperrichtung leitend. Der Strom fließt dann nicht mehr zwangsläufig von den Anoden zur Kathode, sondern willkürlich von Anode zur Anode, bei Parallelbetrieb mit anderen Stromerzeugern auch von Kathode zu Anode. Hierdurch werden nicht nur der Gleichstromkreis, sondern auch die von dieser Störung, die man Rückzündung nennt, betroffenen Sekundärphasen des Umspanners kurzgeschlossen. Es gibt auch noch andere Ursachen für diese Erscheinung, die man beim Bau der Gleichrichter berücksichtigen muß. Für die Betriebsführung ist jedoch die richtige Kühlung von besonderer Bedeutung.

Gleichrichter mit Glasgefäßen bis 60 A werden durch natürlichen Luftzug gekühlt (Bild 8), größere Glasgleichrichter (Bild 9) und die kleinsten Eisengleichrichtertypen werden mit einem Lüfter geliefert. Es muß dafür Sorge getragen werden, daß durch geeignete Aufstellung auch genügend Luft zutreten und die warme Luft leicht abströmen kann.

Die größeren Gleichrichter mit Eisengefäßen (Bild 10) haben einen Kühlmantel, durch den während des Betriebes dauernd Wasser strömt. Wo kein geeignetes Kühlwasser zur Verfügung steht, läßt man das Gleichrichter-Kühlwasser in stetem Kreislauf mit Hilfe einer Umwälzpumpe zwischen dem Gleichrichter und einem Rückkühler umlaufen. Man füllt diesen Kühlwasserkreis mit reinem Wasser und kann dieses in dem Rückkühler indirekt entweder mit dem vorhandenen Rohwasser, das dann nicht so rein zu sein braucht, oder, wo auch solches Wasser nicht zur Verfügung steht, mit Luft kühlen.

Die Temperatur des Gleichrichters darf aber auch nicht zu niedrig sein. Für jede Stromstärke gibt es einen bestimmten günstigsten Dampfdruck. Sind zu wenig Quecksilber-Ionen im Entladungsraum, so wird der Spannungsabfall groß, und es müßte

eine höhere Spannung zwischen Anode und Kathode gelegt werden, um den Strom über die Entladungsstrecke zu treiben. Auch die Zündung wird durch zu niedrige Temperatur erschwert; zu niedrige Temperatur kann aber auch zu Überspannungen führen. Bei den luftgekühlten Glasgleichrichtern, die sehr häufig in wenig oder gar nicht geheizten Räumlichkeiten aufgestellt werden, verwendet man deshalb zur Erleichterung der Zündung in der kalten Jahreszeit in das Gestell eingebaute Wärmestrahler. Auch die selbsttätige Anpassung der Lüftung an die Belastung wirkt in diesem Sinne. Bei Eisengleichrichtern mit Wasserkühlung kann die erforderliche Betriebstemperatur, besonders bei der oben beschriebenen Umlaufkühlung, leicht eingestellt werden.

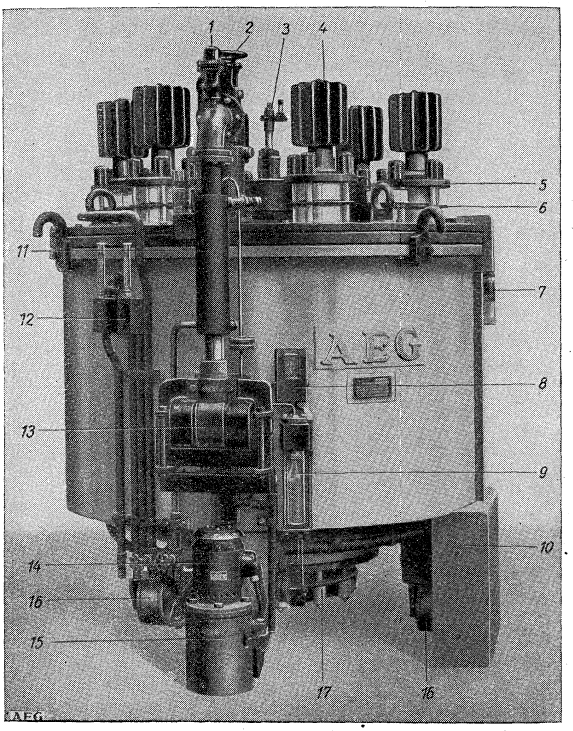


Bild 10. Großstromrichter mit Eisengefäß.

1 Vakuummeßlampe. 2 Hauptabsperrventil. 3 Zündeinrichtung. 4 Anodenkühler. 5 Anodenanschlußflansch. 6 Gitteranschlußflansch. 7 Temperaturkontakt. 8 Druckkontakt (Vorvakuum). 9 Rückschlagventil. 10 Klemmkasten für Hilfsleitungen. 11 Hauptpumpe. 12 Kühlwasserrohr mit Thermometer. 13 Heizeinrichtung der Hauptpumpe. 14 Vorpumpenmotor. 15 Vorpumpe. 16 Rollen. 17 Kathode.

Die für das richtige Arbeiten der Gleichrichter notwendige Luftleere wird bei den luftgekühlten Gleichrichtern, d. h. den Glasgleichrichtern und den pumpenlosen Eisengleichrichtern (Bild 11), schon in der Fabrik ein für allemal hergestellt. Die Strom-Durchführungen in das Gefäß werden durch innige Verschmelzung dauernd vakuumdicht hergestellt. Für die Glasgleichrichter verwendet die AEG ein hochwertiges Spezialglas, dessen Wärmedehnung derjenigen des Molybdäns gut angepaßt ist, das für die Stromdurchführungen verwendet wird. Der vakuumdicht geschweißte Eisenkörper der luftgekühlten Eisengleichrichter wird mit den keramischen Durchführungsisolatoren und diese mit den Stromdurchführungen durch ein besonderes Hartlötverfahren verbunden. Dieses gestattet bei der Entgasung in der Fabrik Temperaturen, die ein Vielfaches der später im Betrieb auftretenden sind und bietet damit die größte Sicherheit dafür, daß etwa später noch bei Überlastungen Gasausbrüche aus den verwendeten Werkstoffen die Luftleere beeinträchtigen könnten.

Größere luftgekühlte und alle wassergekühlten Eisengleichrichter werden mit einer angebauten Pumpeinrichtung geliefert, um auch im Betrieb die beste Luftleere immer wieder herstellen zu können. Sie besteht aus einer Quecksilber-Dampfstrahlpumpe als Feinpumpe und einer umlaufenden Vorpumpe. Ein Zwischenvakuumbehälter gestattet

es bei der AEG-Bauart, die umlaufende Pumpe stillzusetzen und meist nur mit der ruhenden Quecksilberdampfpumpe zu arbeiten. Das kurzzeitige Abpumpen des Zwischenvakuumbehälters und der Abschluß gegen die Außenluft bei stillstehender Vorpumpe werden selbsttätig vom Druck im Zwischenbehälter gesteuert.

Zur Dichtung der wassergekühlten Eisengleichrichter werden die seit langer Zeit bewährten und einfach zu handhabenden Gummidichtungen verwendet.

Umspannerschaltungen

Während für kleine Leistungen häufig die oben erwähnte Doppelwegschaltung verwendet wird, bei der ein Gleichrichter unter Zwischenschaltung eines Einphasenumspanners an eine Netzphase angeschlossen wird, schließt man Gleichrichter mittlerer oder größerer Leistung an alle drei Phasen eines Drehstromnetzes an. Bild 12 läßt erkennen, daß der geschlossene Stromkreis einer solchen dreiphasigen Gleichrichteranlage von der Sekundärseite des Gleichrichterumspanners abwechselnd über eine der Anoden zur Kathode des Gleichrichters, dann weiter über den Gleichstromverbraucher und wieder zurück zum Nullpunkt des Umspanners verläuft. Die Kathode ist der positive Pol und der Nullpunkt des Umspanners der negative Pol der Gleichrichteranlage.

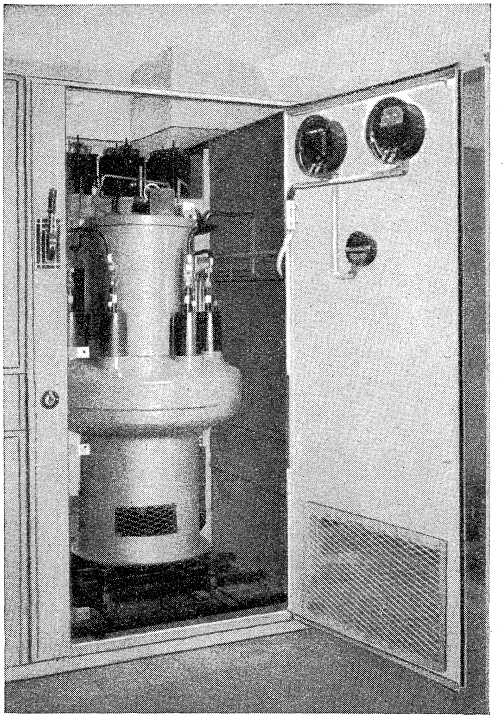


Bild 11.
Pumpenloser, luftgekühlter Eisengleichrichter 500 A.

Es ist nicht immer möglich, den Gleichrichter unmittelbar an ein vorhandenes Drehstromnetz anzuschließen. Zunächst muß die dem Gleichrichter zugeführte Drehstromspannung in einem bestimmten Verhältnis zu der verlangten Gleichspannung stehen. Ferner müßte das Drehstromnetz einen Nulleiter haben, der mit der vollen Gleichstromstärke des Gleichrichters belastet werden darf. Da außerdem in den meisten Drehstromnetzen mit Nulleiter dieser geerdet ist, wäre bei unmittelbarem Anschluß des Gleichrichters an das Drehstromnetz demnach auch der Minuspol des Gleichrichters an Erde gelegt. Dies ist nicht immer zulässig, da viele Gleichstromanlagen als Dreileiteranlagen mit ebenfalls geerdetem Nulleiter arbeiten. Würde man in einer solchen Anlage auch noch den Minuspol der Gleichrichtanlage erden, so bedeutete dies den Kurzschluß einer Netzhälfte. Unerwünscht ist auch die Erdung des Minuspoles dort, wo Störungen durch Erdschlüsse besonders unangenehme Folgen haben könnten. Bei geerdetem Minuspol würde jeder Erdschluß auf der Plusseite zu einem Kurzschluß werden. Deshalb sollte man z. B. bei Gleichrichtern, die die Betätigungsspannung für Schaltanlagen liefern, nicht mit geerdetem Minuspol arbeiten.

Die passende Anschlußspannung stellt man bei kleineren Gleichrichteranlagen im

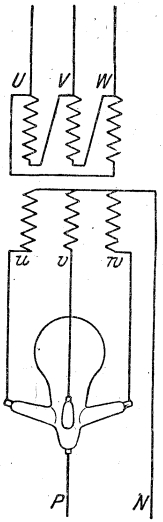


Bild 12.
Grundsätzliche Umspannerschaltung eines Gleichrichters.

Anschluß an Niederspannungsnetze häufig durch zwischengeschaltete Sparumspanner her, die bei Glasgleichrichtern kleinerer Leistung mit in das Gleichrichtergestell eingebaut werden. Für den Anschluß an Hochspannungsnetze und für den Anschluß an Niederspannungsnetze mit geerdetem Nulleiter,der in den oben angegebenen Fällen den unmittelbaren Anschluß verbietet, verwendet man Anschlußumspanner mit getrennter Primär- und Sekundärwicklung. Den Minuspol der Gleichrichteranlage bildet bei getrennten Wicklungen immer der sekundäre Nullpunkt des Anschlußumspanners. Bei Sparwicklung kann der Minuspol im Anschlußumspanner oder, wenn ein entsprechend bemessener Nulleiter vorhanden ist, im Netz gebildet werden. Beim Entwurf einer Gleichrichteranlage müssen diese Anschlußverhältnisse berücksichtigt werden.

Die Sekundärseite des Anschlußumspanners einer Gleichrichteranlage wird schlechter ausgenützt als die Wicklung eines normalen Drehstromumspanners. Der Strom fließt ja abwechselnd über die verschiedenen Anoden des Gleichrichters, so daß auch in einzelnen Teilen der Umspannerwicklung der Stromfluß von regelmäßigen Pausen unterbrochen wird. Deshalb kann man nicht ohne weiteres einen Gleichrichter wie irgendeinen anderen Verbraucher über einen normalen Umspanner entsprechender Leistung anschließen. Ein Gleichrichterumspanner muß vielmehr je nach Art der Schaltung und Phasenzahl des Gleichrichters eine Nennleistung von dem 1,3—1,7 fachen der Gleichstromleistung haben. Außerdem muß natürlich die Belastbarkeit des Nullpunktes mit der vollen Gleichstromstärke berücksichtigt werden.

Tafel 1 zeigt die gebräuchlichsten drei- und sechsphasigen Schaltungen von Gleichrichter-Umspannern mit den Bezeichnungen, die in den Gleichrichterregeln des VDE festgelegt sind. Die Schaltungen A_2, B_2 und F_1 werden wegen ihres hohen Spannungsabfalles und der schlechteren Ausnützung des Umspanners nur in Ausnahmefällen benutzt.

Spannungsreglung

In vielen Betrieben gestattet es der verhältnismäßig geringe Spannungsabfall des Gleichrichters, ganz ohne Spannungsreglung auszukommen. Besonders die reinen Kraftbetriebe wie Bahnen, Krananlagen und andere Verbraucher mit Elektromotoren verzichten meist auf jede Spannungsreglung, es sei denn, daß außergewöhnlich starke Schwankungen der Anschlußspannung ausgeglichen werden müssen. Meist wird man aber auch hierfür mit den üblichen spannungslos umschaltbaren Anzapfungen am Gleichrichterumspanner auskommen, wenn die Drehstromspannung sich nur in größeren Zeitabschnitten ändert.

Anders ist es in Lichtnetzen, die eine genauer einzuhaltende Spannung verlangen, besonders wenn noch der Spannungsabfall langer Speiseleitungen ausgeglichen werden muß.

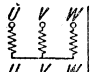
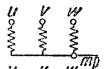
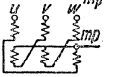
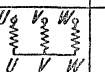
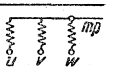
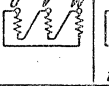
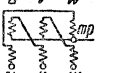
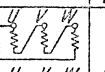
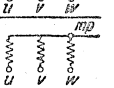
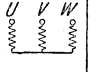
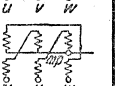
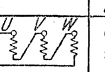
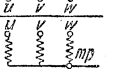
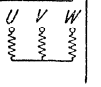
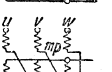
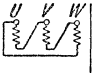
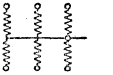
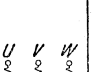
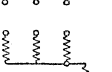
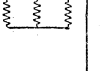
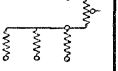
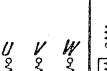
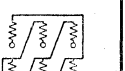
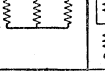
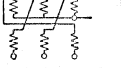
Die Grenzen der notwendigen Spannungsreglung, die insgesamt 20 und in ungünstigen Fällen mehr v. H. betragen kann, sind wie folgt zu bestimmen und bei Anfragen und Bestellungen anzugeben.

a) Untere Grenze: Niedrigste verlangte Gleichspannung bei Leerlauf und dabei vorkommende höchste Drehstromspannung.
b) Obere Grenze: Höchste verlangte Gleichspannung bei Vollast und dabei vorkommende niedrigste Drehstromspannung.

Der Regelbereich setzt sich demnach zusammen: erstens aus dem eigentlich verlangten Bereich der Gleichspannung, der auch die nötige Spannungserhöhung zum Ausgleich des Spannungsabfalles in den Gleichstromspeiseleitungen berücksichtigen muß, zweitens aus dem für den Ausgleich des Spannungsabfalles in der Gleichrichteranlage

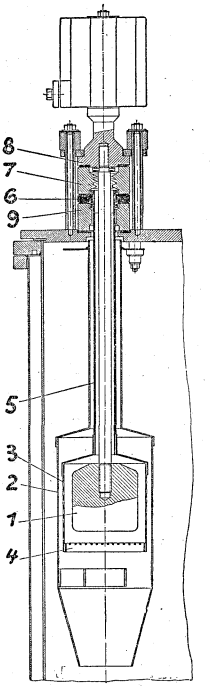
Schaltungen und Schaltgruppen von Gleichrichter-Umspannern

(Nach den Regeln für Stromrichter VDE 0555/1936)

		Bezeichnung		Vektorbild		Schaltungsbild	
		Primär	Sekundär	Primär	Sekundär	Primär	Sekundär
I. Dreiphasen-Gleichrichterbetrieb							
Schaltgruppe A	A_2	Stern	Stern				
	A_3	Dreieck	Zickzack				
Schaltgruppe B	B_2	Stern	Stern				
	B_3	Dreieck	Zickzack				
Schaltgruppe C	C_1	Dreieck	Stern				
	C_3	Stern	Zickzack				
Schaltgruppe D	D_1	Dreieck	Stern				
	D_3	Stern	Zickzack				
II. Sechsphasen-Gleichrichterbetrieb							
Schaltgruppe F	F_1	Dreieck	Doppelstern				
	F_2	Stern	Doppelstern mit Saugdrossel				
	F_3	Stern	Gabel				
Schaltgruppe G	G_2	Dreieck	Doppelstern mit Saugdrossel				
	G_3	Dreieck	Gabel				

selbst erforderlichen Spannungsbetrag und drittens aus einem Anteil, der die Schwankungen der Netzspannung deckt. Es empfiehlt sich, nach sorgfältiger Überlegung aller Verhältnisse den Regelbereich auf das wirklich unbedingt Notwendige einzuschränken, um unnötige Mehrkosten zu vermeiden. Das seit langem bekannte und üblichste Mittel zur Spannungsreglung in Gleichrichteranlagen ist die Änderung der Anodenspannung durch Veränderung der Umspannerübersetzung. Man verwendet:

1. Last-Stufenschalter auf der Hochspannungsseite des Gleichrichterumspanners, besonders bei mittleren und größeren Anlagen,
2. Stufenschalter an den Anschlußumspannern für Niederspannung in kleineren Gleichrichtern, die entweder mit getrennter Primär- und Sekundärwicklung oder in Sparschaltung ausgeführt werden, bei Glasgleichrichtern meist in den Gleichrichterschrank eingebaut,



1 Graphitanode. 2 Äußeres Anodenschutzrohr. 3 Inneres Anodenschutzrohr. 4 Steuergitter. 5 Rohrförmige Stromzuführung zum Steuergitter. 6 Anschlußring für die Stromzuführung zum Steuergitter. 7 Oberer Isolator. 8 Anodenanschlußflansch. 9 Unterer Isolator

Bild 13a.
Anode mit Steuergitter.

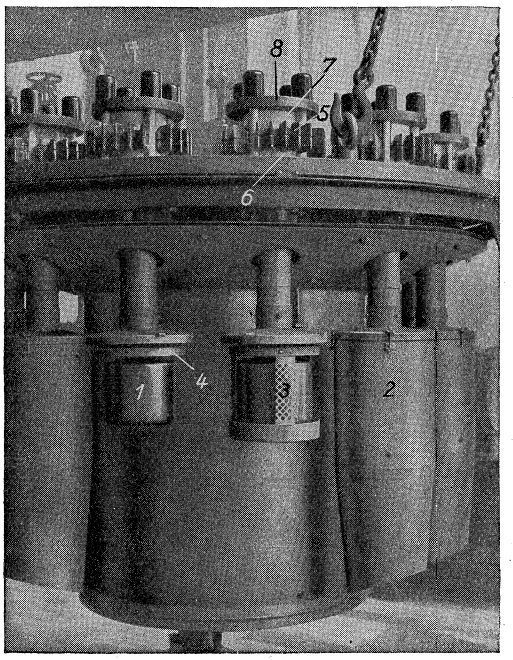


Bild 13. Anodenaufbau eines AEG-Großstromrichters mit Steuergittern

1 Graphitanode. 2 Anodenschutzrohr. 3 Steuergitter (inneres Anodenschutzrohr). 4 Erweitertes Ende der rohrförmigen Gitterzuführung. 5 Gitteranschlußflansch. 6 Unterer Anodenisolator. 7 Oberer Anodenisolator. 8 Anodenanschlußflansch.

3. Regelzusatzumspanner mit Stufenschalter auf der Niederspannungsseite des Hauptumspanners,
4. Drehumspanner zur stufenlosen Reglung.

Da die einzelnen Spannungsstufen in der Regel nicht mehr als um etwa 1,5 v. H. Unterschied aufweisen sollen, ergibt sich je nach Größe des Regelbereiches eine verschiedene Stufenzahl. Besonders bei Anlagen, die mit anderen parallel arbeiten sollen, muß darauf geachtet werden, daß zu grobe Stufung nicht zu unzuträglichen Lastverschiebungen führt. Selbsttätige Spannungsreglung erfordert zur Einschränkung der Regelhäufigkeit auch feine Stufung.

Neuerdings hat sich noch ein anderes Verfahren zur stufenlosen Spannungsänderung eingeführt, die

Gittersteuerung; auch sie arbeitet wie die Stufenreglung mit nur geringen zusätzlichen Verlusten. Ähnlich wie bei den bekannten Rundfunkröhren wird eine gitterförmige Elektrode zwischen Anode und Kathode des Gleichrichters eingebaut (Bild 12a und 13), der man eine Hilfsspannung zuführt. Die Lichtbogenentladung in einem Gleichrichter kommt, wie bereits beschrieben, durch Aussendung negativ elektrisch geladener Teilchen von der Kathode zustande, die von der positiven Anode angezogen werden. Legt man nun das Steuergitter an negative Spannung, so stößt das negativ geladene Gitter die negativen Teilchen ab und läßt die Entladung zwischen Kathode und Anode nicht zustande kommen, es sperrt die Zündung. Erst wenn man die negative Gitterspannung wegnimmt oder noch besser eine positive Spannung anlegt, kann der Lichtbogen zünden. (Im Gegensatz zu den Hochvakuumröhren der Rundfunktechnik kann allerdings der einmal gezündete Lichtbogen eines Quecksilberdampf-Gleichrichters durch neuerliches Anlegen einer negativen Gitterspannung nicht mehr gelöscht werden, er brennt dann bis zum Ende der Anodenbrenndauer).

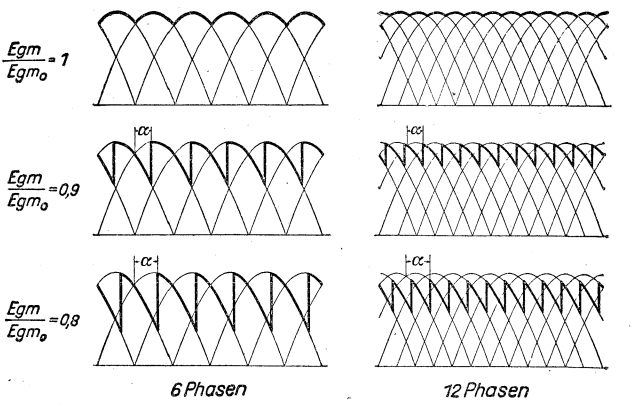


Bild 14. Regelung der Gleichspannung durch Gittersteuerung.
Egm = mittlere Gleichspannung bei voll offenem Gitter (ohne Zündverzögerung). Egm₀ = mittlere Gleichspannung bei teilweiser Aussteuerung.

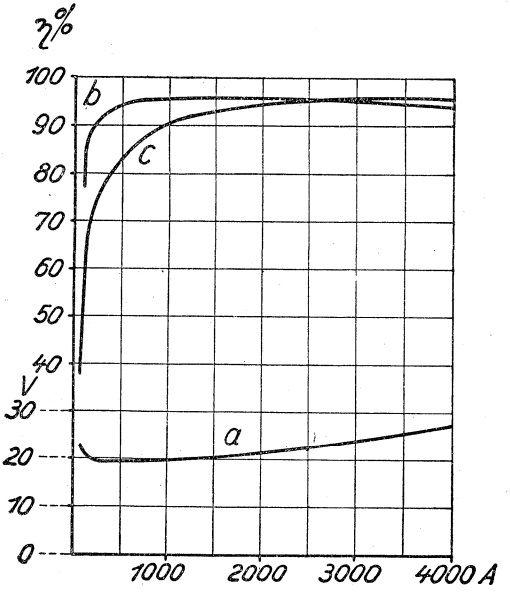


Bild 15. Wirkungsgrade eines Gleichrichters mit Eisengefäß und eines Einankerumformers bei 500 V.
a) Lichtbogenabfall im Gleichrichter. b) Wirkungsgrad des Gleichrichters (ohne Umspanner). c) Wirkungsgrad des Einankerumformers (ohne Umspanner).

Bei den AEG-Gleichrichtern steuert man in sehr einfacher Weise dadurch, daß man über einen kleinen Hilfsumspanner demselben Netz, an das auch die Hauptanoden angeschlossen sind, eine Wechselspannung entnimmt und an die Gitter führt. Man verschiebt nun diese Gitterwechselspannung durch einen kleinen Drehregler um den Winkel α so, daß sie gerade dann positiv wird, wenn der Lichtbogen zünden soll. Das Schema einer solchen Regelung zeigt Bild 17. Die Spannungskurven in Bild 14 zeigen, wie dadurch aus der Gleichspannungskurve, die sich ja aus Teilen der Wechselspannung

zusammensetzt, soviel herausgeschnitten wird, als zur gewünschten Verminderung des Spannungsmittelwertes nötig ist. — Bei starker Herabregelung weicht freilich die Form der Gleichspannung erheblich von der idealen Geraden ab, es sind Oberwellen vorhanden, die unter Umständen besondere Maßnahmen erfordern, besonders bei dreiphasiger Schaltung. Da, wie man sieht, der Schwerpunkt der Anodenstromabschnitte gegenüber der Anodenspannung bei der Gittersteuerung verschoben wird, wird auch der Leistungsfaktor eines gittergesteuerten Gleichrichters etwa in demselben Maße verkleinert wie die Gleichspannung.

Da die Gitterreglung nur eine sehr kleine Leistung beansprucht, sind die Regelorgane, insbesondere der Gitterdrehregler, auch klein; gittergeregelte Gleichrichter lassen sich deshalb leicht durch Relais selbsttätig regeln oder über dünne Hilfsleitungen fernsteuern.

Auch zur Abschaltung von Kurzschlüssen wird die Sperrung durch negative Gitterspannung benutzt, wobei ein Überstrom- oder Rückstrom-Schnellrelais die Sperrung einleitet.

Da man bei der Gittersteuerung den Einsatz der Zündung nicht dem normalen Verlauf der Anodenspannung überlassen muß, sondern willkürlich verschieben kann, ist es möglich geworden, Entladungsgefäße jeder Art, von der kleinsten Glühkathodenröhre bis zum größten Eisengefäß, auch zu anderen Aufgaben der Stromumformung zu befähigen. Man kann mit ihnen nicht nur Wechselstrom in Gleichstrom, sondern auch Gleich- in Wechselstrom, Wechselstrom einer Frequenz in solchen anderer Frequenz und Gleichstrom einer Spannung in solchen anderer Spannung umformen. Um diese Vielseitigkeit schon bei der Benennung zu ordnen, sind folgende Bezeichnungen eingeführt worden:

Oberbegriff	Stromrichter		
Schaltung....	Wechselstrom—Gleichstrom	Gleichstrom—Wechselstrom	Wechselstrom—Wechselstrom
Benennung...	Gleichrichter	Wechselrichter	Umrichter

Parallelarbeit

Gleichrichter können mit anderen Gleichstromquellen ohne weiteres parallel arbeiten, wenn die Belastungskennlinien der Parallelläufer nicht allzu weit auseinanderliegen. Die Kennlinie der Gleichrichteranlage kann man durch Wahl der Kurzschlußspannung und die Schaltung des Umspanners nötigenfalls noch durch vorgeschaltete Drosselspulen in jedem gewünschten Maße beeinflussen.

Wirkungsgrad

Es wurde schon erwähnt, daß der Spannungsbetrag, der gebraucht wird, um die Lichtbogenentladung aufrechtzuerhalten, der Lichtbogenabfall, den Hauptanteil an den Verlusten einer Gleichrichteranlage bringt. Die Verluste in den Umspannern und den Nebeneinrichtungen beeinflussen den Wirkungsgrad nicht ausschlaggebend. Der Spannungsverlust bleibt fast gleich bei verschiedenen Stromstärken (je nach Größe des Gleichrichters zwischen 15 und 30 V) und ist von der Betriebsspannung unabhängig. Je höher die Gleichspannung, desto besser der Gleichrichterwirkungsgrad. Von etwa 250 V aufwärts ist der Eisengleichrichter bei Vollast einem umlaufenden Umformer im Wirkungsgrad etwa gleichwertig, um schließlich über 500 V diesen mit weiter steigender Spannung zu übertreffen (Bild 15). Noch wichtiger ist aber die Eigenart des Gleichrichters, daß sein Wirkungsgrad mit kleinerer Belastung nicht wie bei Maschinen rasch abfällt, sondern bis ¼ Last praktisch gleichbleibt, um erst von etwa $^1/_{10}$ Last ab stärker abzufallen. In den meisten Betrieben werden die Umformer nämlich nicht dauernd voll ausgenützt, — man denke nur an Bahn- und Krananlagen — so daß der Gleichrichter auch dort noch, wo sein Vollastwirkungsgrad bei niedriger Gleichspannung den eines Maschinenumformers nicht erreicht, doch einen besseren Jahreswirkungsgrad ergeben kann.

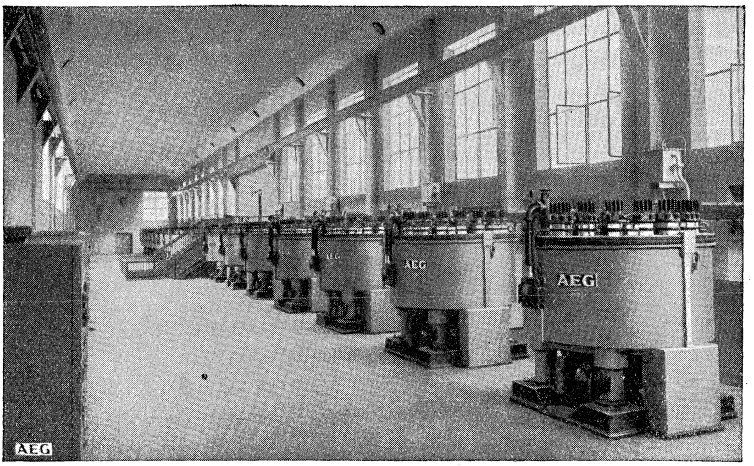


Bild 16. Großgleichrichteranlage für 80 000 A, 800 V.

Leistungsfaktor

Der Gleichrichter wird in der Regel über einen Umspanner angeschlossen. Wie überall, wo magnetische Felder in Wechselstromkreisen auftreten, ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen angelegter Spannung und dem aufgenommenen Strom. Das Maß dieser Phasenverschiebung ist der cos φ. Er ist bei Gleichrichteranlagen verhältnismäßig hoch (meist über 0,9 bis 0,95), da die magnetischen Felder im Anschlußumspanner oder in Drosselspulen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Für die Stromverrechnung ist oft der cos φ maßgebend, da er ein Maß des gelieferten Blindstromes bildet und die Meßgeräte ihn allein erfassen. Dennoch darf man den cos φ bei Gleichrichteranlagen nicht dem Leistungsfaktor schlechthin gleichsetzen, wie dies bei Verbrauchern von sinusförmigem Strom ohne weiteres zulässig ist. Der Gleichrichter nimmt keinen sinusförmigen Strom auf, sondern einen Strom, dem Oberwellen überlagert sind. Diese können mit der sinusförmigen Spannung der Grundfrequenz keine Leistung bilden und sind dafür ebenso nutzlos wie der Blindstrom. Um aus dem Produkt Strom × Spannung (VA) die aus dem Wechselstromnetz entnommene Leistung in W zu errechnen, muß man bei Gleichrichtern mit zwei Faktoren, die kleiner als eins sind, multiplizieren:

dem Verschiebungsfaktor, der gleich ist dem cos φ und praktisch unabhängig von der Schaltung,

und dem Verzerrungsfaktor, der die Verformung des Primärstromes berücksichtigt und um so mehr sich dem Betrage Eins nähert, je mehr Phasen die Sekundärseite des Gleichrichterumspanners hat. Das Produkt beider Faktoren gibt erst den Leistungsfaktor einer Gleichrichteranlage.

Verbindungsleitungen

In einer Gleichrichteranlage bedürfen nur die Anschlußleitungen zwischen Gleichrichter und Umspanner oder, wenn als Minuspol der Nulleiter eines Drehstromnetzes dient, die Anschlußleitungen an dieses Netz eines besonderen Hinweises. Alle anderen Leitungen werden wie sonst üblich nach dem Betriebsstrom und der Verlegungsart bemessen. Die Anoden-Anschlußleitungen führen aber weder einen reinen Gleichstrom noch einen Wechselstrom, sondern regelmäßig mit Pausen wechselnde Gleichstromstöße, die erst durch Zusammenfassung aller Anodenströme in der Kathode den

Gleichstrom ergeben. Kann man wie bei kleineren Dreiphasen-Gleichrichtern alle Anodenleitungen in einem Dreileiterkabel zusammenschließen oder auch in mehreren parallelgeschalteten Dreileiterkabeln, so daß immer 3 Phasen in einem Kabel zusammengefaßt sind, so ist alles in Ordnung, das Kabel braucht nur nach dem effektiven Anodenstrom bemessen werden, es darf auch in der üblichen Weise mit Bleimantel und Eisenbewehrung versehen sein. Es fließt zwar kein Drehstrom im Anodenkabel, aber für die Wirkung nach außen auf den Kabelmantel ergänzen sich die Anodenteilströme in den drei Leitern ebenso zum Gleichstrom, wie wenn nur ein von Gleichstrom durchflossener Leiter vorhanden wäre.

Anders ist es, wenn nicht alle Anodenleitungen zusammengefaßt werden können, denn dann muß man mit dem Anodenstrom als einem regelmäßig unterbrochenen Gleichstrom rechnen, den man sich auch als einen Gleichstrom vorstellen kann, dem ein Wechselstrom überlagert ist. Nur beim Drehstrom in symmetrisch verlegten Kabeladern wird das magnetische Feld durch das Zusammenwirken der drei Phasen aufgehoben. Beim Wechselstrom muß man aber mit einer zusätzlichen Erwärmung der Kabel durch Verluste rechnen, die durch Induktion im Bleimantel und der Bewehrung und durch Wechselmagnetisierung in der Eisenbewehrung entstehen. Deshalb sollte man für einzeln verlegte Anodenleitungen keinenfalls eisenbewehrte Kabel verwenden, sondern höchstens blanke Bleikabel, wobei man die üblichen Abschläge in der Belastbarkeit für Luftverlegung und Kabelhäufung etwas größer machen sollte. Faßt man bei Sechsphasengleichrichtern drei Anodenleitungen in einem Dreileiterkabel zusammen, so darf man sich nicht verleiten lassen, mit einer normalen Drehstrombelastung zu rechnen, auch wenn man drei zu einem Drehstromsystem (z. B. U_1, V_1, W_1) gehörige Phasen zusammenfaßt. Es bleibt ja doch unterbrochener Gleichstrom; es ist in diesem Falle zu empfehlen, daß man nicht drei um 120 elektrische Grade verschobene Phasen des Sechsphasensystems zusammenfaßt, sondern drei aufeinanderfolgende, z. B. U_1, U_2, V_1, die dann wenigstens lückenlos aufeinanderfolgend Strom führen oder aussetzen, wodurch wenigstens die Frequenz der Stromimpulse, vom Kabelmantel aus betrachtet, auf ein Drittel sinkt.

Man sollte die Bleimäntel von Anodenkabeln nur an einem Ende erden, sonst aber durch Preßspanzwischenlagen oder ähnliches isolieren, um Induktionsströme möglichst zu unterbinden, muß aber dann damit rechnen, daß bei längeren Leitungen an dem isolierten Ende des Mantels merkliche Spannungen auftreten können.

Besser ist es dort, wo es die räumlichen Verhältnisse erlauben, als Anodenleitungen Gummiaderleitungen ohne metallischen Mantel zu verlegen, die sich leicht verarbeiten lassen. Wegen der für Gleichrichter vorgeschriebenen höheren Prüfspannung verwendet man je nach der Gleichspannung Sonderleitungen (NSGA) für wenigstens 2 oder 3 kV je nach der Anlage-Nennspannung. Auch blanke Leitungen sind in manchen Fällen selbstverständlich verwendbar.

Der effektive Anodenstrom ist bei den gebräuchlichsten Schaltungen:

Dreiphasen (Schaltgruppe A—D):..... Gleichstrom Wert : 1,73*)
Sechsphasen (Schaltgruppe F_1, F_3, G_3); ..... Gleichstrom Wert : 2,45
Sechsphasen (Schaltgruppe F_2 u. G_2): ..... Gleichstrom Wert : 3,462

Sind mehrere Anoden parallelgeschaltet, so muß man die erhaltenen Werte noch einmal durch die Zahl der parallelgeschalteten Anoden teilen.

Spannungsteilung

Häufig sollen Gleichrichter Dreileiter-Gleichstromnetze mit Nulleiter versorgen. Man muß dann, falls solche Einrichtungen im Netz nicht schon vorhanden sind, z. B. eine Akkumulatorenbatterie mit Nullpunkt, für eine Spannungsteilung sorgen. Der Gleichrichter selbst bietet hierzu aus physikalischen Gründen keine Möglichkeit; der Mittelpunkt der Gleichspannung kann bei ihm nicht abgegriffen werden. Man hat schon wiederholt Anlagen gebaut, in denen zwei Gleichrichter, die dann getrennte Minuspole, also getrennte Umspanner-Sekundärwicklungen haben müssen, hinter-

*) $1{,}73=\sqrt{3}$, $2{,}45=\sqrt{6}$, $3{,}462=2\sqrt{3}$

einandergeschaltet werden. Das ist technisch ohne weiteres möglich; jeder Gleichrichter speist dann eine Netzhälfte; dort wo der Pluspol des einen Gleichrichters mit dem Minuspol des anderen verbunden wird, schließt man den gemeinsamen Mittelleiter an. Man kann auch außerdem Gleichrichter dazuschalten, die mit doppelter Spannung allein auf die beiden Außenleiter arbeiten. Wo man umlaufende Maschinen unbedingt vermeiden will, ist dies ein durchaus gangbarer Weg.

Es ergeben sich nur einige wirtschaftliche Nachteile. Gleichrichter für die halbe Spannung haben einen schlechteren Wirkungsgrad, sie müssen beide für denselben Strom bemessen sein, um zusammen bei zweimal der halben Spannung dieselbe Leistung abgeben zu können wie ein Gleichrichter der ganzen Außenleiterspannung. Der Preis zweier Gleichrichter ist aber etwa doppelt so hoch, weil die geringe Verbilligung durch die halbe Spannung durch die getrennten Umspannerwicklungen wieder aufgehoben wird.

Am besten eignet sich immer noch der im Abschnitt „Umformer" behandelte Ausgleichssatz. Er ist billig und hat verhältnismäßig kleine Verluste; auch die Betriebssicherheit läßt bei diesen Maschinen nichts zu wünschen übrig. Besonders zu empfehlen sind solche Ausgleichsätze, die nach DRP. 616333 mit zusätzlichen Hauptstromwicklungen zur Unterdrückung von Stromstößen bei Spannungsschwankungen versehen sind. Sie können ohne Anlasser eingeschaltet werden. Zur selbsttätigen Spannungshaltung können sie außer den üblichen über Kreuz geschalteten Nebenschlußwicklungen noch Hauptstrom-Compoundwicklungen erhalten. Sie werden fertig eingestellt und anschlußbereit geliefert. Anlasser und Nebenschlußregler fallen fort. Besonders in bedienungslosen Unterwerken ist diese Ausführung gut zu verwenden.

Schutz

Gleichrichter werden gegen Überlastung durch Überstromselbstschalter auf der Drehstrom- und Gleichstromseite geschützt, die bei kleineren Leistungen durch Sicherungen ersetzt werden können.

Einige Eigenheiten der Gleichrichter müssen hierbei berücksichtigt werden.

Rückstrom. Die Ventilwirkung des Gleichrichters macht das Auftreten von Rückstrom, wenn alles in Ordnung ist, unmöglich. Wie schon erwähnt, gibt es aber seltene Störungsfälle, die einen Rückstromschutz notwendig machen. Die „Rückzündung" verläuft ohne größere Betriebsstörung, wenn ihre Auswirkung durch entsprechende Schutzmittel eingegrenzt wird. Zur selektiven Abschaltung des gestörten Gleichrichters von der Gleichstromseite verwendet man Rückstromschnellschalter, wofür man auch noch bei kleineren Strömen den preiswerten, gepolten „Gearapid"-Schalter mit Vorteil verwenden kann. Da aber bei der „Rückzündung" ein Kurzschlußstrom auch von Anode zu Anode zustande kommt, muß auch die Verbindung mit dem Drehstromnetz unterbrochen werden. Bisher geschah dies durch den Drehstromschalter, der gegebenenfalls auch durch einen Hilfskontakt des Gleichstrom-Schnellschalters ausgelöst wurde. Bei gittergesteuerten Gleichrichtern hat man in der Gittersperrung (siehe Seite 92) ein besseres und vor allem schneller wirkendes Mittel.

Bei richtiger Anwendung dieser Schutzeinrichtungen kann man den Gleichrichter ohne längere Betriebsstörung nach dem Ansprechen des Schutzes sofort wieder einschalten.

Bei Glasgleichrichtern deren verhältnismäßig kleine Einzelleistung einen größeren Aufwand an Schutzeinrichtungen nicht erlaubt, werden den Anoden Schmelzsicherungen als Schutz vorgeschaltet.

Kühlung. Die für den Gleichrichter so wichtige Kühlung muß auch ständig überwacht werden, bei wassergekühlten Eisengleichrichtern durch Kontaktthermometer, bei luftgekühlten Gleichrichtern durch einen Luftströmungskontakt (Windklappe). Bei kleineren Glasgleichrichtern mit einer Schmelzsicherung in der Kathoden-(plus)-Leitung liegt diese im Kühlluftstrom und ist so bemessen, daß sie ohne Kühlluft schon bei einem niedrigeren Strom durchschmilzt, der dem ungekühlten Gleichrichter gefährlich wird.

Vakuumhaltung. Bei größeren Eisengleichrichtern mit angebauten Vakuumpumpen wird deren Arbeit durch Relais überwacht.

Überspannungen. Der Möglichkeit von Überspannungen wird durch besonders gute Isolation und höhere Prüfspannung Rechnung getragen. Außerdem werden aber durch hochohmige Widerstände alle Induktivitäten überbrückt und Überspannungsableiter (Funkenstrecken mit spannungsabhängigen Widerständen SAW) eingebaut.

Gleichrichter für motorische Antriebe.

Ähnlich wie die Leonardsteuerung (siehe „Umformer") und in gleichem Anwendungsbereich wird der Gleichrichter zum Anlassen und zur Drehzahlreglung von Motoren verwendet, wobei die dem Drehstromnetz entnommene Energie in Gleichstrom umgeformt wird. Das Anwendungsgebiet ist ein ähnliches, wie es bei der Leonardsteuerung aufgeführt ist. Die Spannungsregelung erfolgt durch **Gittersteuerung** (vgl. Seite 92).

Zu unterscheiden ist zwischen Speisung eines einzelnen Motors und Mehrmotorenantrieben mit gemeinsamer Regelung, z. B. für Papiermaschinen, Walzenstraßen usw. Bei dem hohen Wirkungsgrad des Stromrichters und seiner bequemen Bedienung lohnt sich seine Verwendung oft schon zum gemeinsamen Anlassen der Antriebe oder zur Konstanthaltung der Spannung zwecks genauen Einhaltens der Drehzahlen.

Bei der Speisung eines einzelnen Antriebes gestattet die Gittersteuerung volle Anpassung an die Anforderungen der Arbeitsmaschine, vor allem an den Verlauf der Belastung in dem vorgesehenen Drehzahlbereich.

Bild 17 zeigt die Schaltung einer solchen Regelanordnung, wobei reine Ankerreglung vorausgesetzt ist. Für den Antrieb der Arbeitsmaschine wird ein Gleichstrommotor üblicher Bauart verwendet, dessen Feldwicklung mittels einer festen Gleichspannung erregt wird. Sekundärwicklung des Umspanners, Gleichrichtergefäß, Motoranker und Glättungsdrossel sind hintereinandergeschaltet. Zur Gittersteuerung verwendet man dort, wo es auf einen genaueren Zündeinsatz der einzelnen Anoden auch bei starker Gittersperrung ankommt, statt der sinusförmigen, aus dem Netz zur Verfügung stehenden Spannung steile Spannungsimpulse (Stoßsteuerung). Hierzu wird die Gitterspannungskurve durch magnetisch gesättigte Umspanner oder durch Steuerröhren umgeformt.

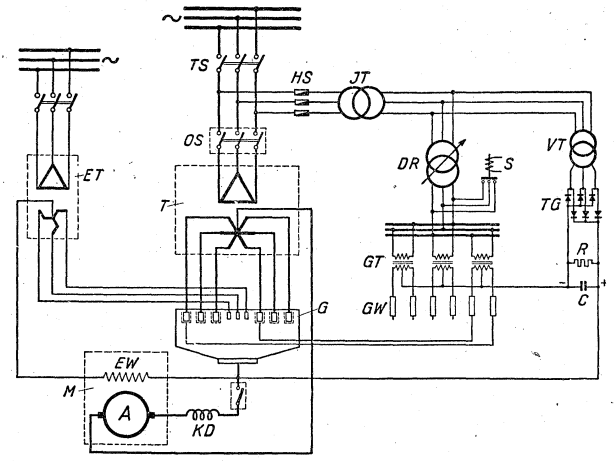


Bild 17. Drehzahlreglung eines Gleichstrommotors durch Stromrichter. A = Anker des Motors. C = Glättungskondensator. DR = Gitterdrehregler. ET = Erregerumspanner. EW = Erregerwicklung des Motors. G = Stromrichtgefäß. GT = Gittersteuerumspanner. GW = Gitterschutzwiderstände. HS = Hochspannungssicherungen. JT = Isolierumspanner. KD = Kathodendrossel. M = Motor. OS = Leistungsschalter. R = Widerstand. S = Schnellschaltrelais. T = Hauptumspanner. TG = Trockengleichrichter. TS = Trennschalter. VT = Hilfsumspanner für die negative Gittervorspannung.

Für die Speisung des Motorfeldes wird, wenn eine geeignete Gleichstromquelle nicht vorhanden ist, ein besonderer Hilfsgleichrichter aufgestellt, der beim

Eisengleichrichter sich mit dem Hauptgefäß vereinigen läßt, indem man die Erregeranoden zugleich für das Motorfeld mitbenützt. Parallel zur Feldwicklung wird dann ein fester Schutzwiderstand geschaltet, der bei plötzlichen Unterbrechungen im Erregerlichtbogen Überspannungen an der Wicklung verhindert. Die Stromaufnahme eines solchen Schutzwiderstandes wird etwa 20—25 v. H. des höchsten Erregerstromes betragen. Die Erregerleistung des Motors kann je nach Größe und Bauart auf etwa 0,5...2 v. H. der Motorleistung geschätzt werden.

Man wird die Gleichspannung möglichst hoch wählen, denn der Gefäßwirkungsgrad nimmt mit steigender Gleichspannung rasch zu. Bild 18 zeigt den Verlauf des Vollast-Wirkungsgrades eines Gleichrichters von 1000 bzw. 3000 kW bei verschiedenen Gleichspannungen. Zum Vergleich sind die Werte für einen Motorgenerator ebenfalls eingetragen. Viele Antriebe arbeiten mit veränderlichem Drehmoment. Dabei zeigt sich der Gleichrichter nach Bild 19 gegenüber einem Maschinenumformer besonders überlegen. Außerdem sind die Leerlaufverluste des Gleichrichters wesentlich

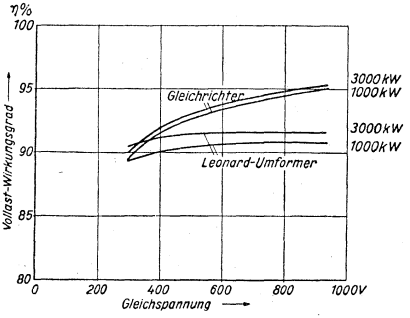


Bild 18. Vollastwirkungsgrad von Gleichrichter und Leonard-Umformer bei verschiedenen Gleichspannungen.

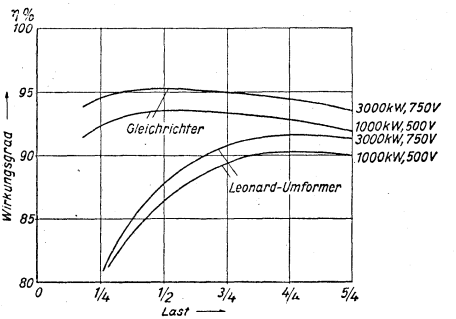


Bild 19. Wirkungsgrad von Gleichrichter und Leonard-Umformer in Abhängigkeit von der **Belastung.**

niedriger als die eines Maschinenumformers. Zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit hat man also den Arbeitsverbrauch nicht für Vollast allein, sondern für das tatsächliche Belastungsdiagramm im zeitlichen Ablauf zu berücksichtigen. Bei Walzwerken hat sich damit in ausgeführten Anlagen eine Energieersparnis von rund 10 v. H. ergeben.

Bei der Spannungsregelung durch Gittersteuerung nimmt der Leistungsfaktor verhältnisgleich mit der zurückgehenden Gleichspannung ab. Diese Verschlechterung des Leistungsfaktors bei einem größeren Drehzahlbereich läßt es ratsam erscheinen, den Einsatz der Gittersteuerung einzuschränken. Für die Verbesserung des Leistungsfaktors kommen folgende Verfahren in Frage:

1. Umschalten am Umspanner. Bei jeder Schaltstufe kann man den Gitterdrehregler wieder zurückstellen, so daß der primäre Leistungsfaktor wieder seinen günstigsten Wert erreicht. Oft genügt eine einzige Stufe durch primäre Umschaltung von Dreieck auf Stern oder von Parallel- auf Reihenschaltung der Wicklungshälften.

2. Kondensatoren auf der Drehstromseite, welche ohne Stufenumschaltungen zum Ziele führen.

3. Die Drehzahlregelung wird teilweise im Feld des Motors ausgeführt. Dies empfiehlt sich besonders, wenn im unteren Bereich der Drehzahl das Drehmoment konstant bleibt, im oberen Bereich die Leistung (bei abnehmendem Drehmoment). Dann regelt man im unteren Bereich mit Gittersteuerung am Anker, im oberen im Motorfeld.

Für kleinere Antriebe genügt dreiphasige Schaltung des Stromrichters. Im allgemeinen wird man aber sechsphasig arbeiten, da hierfür der zusätzliche Aufwand gering ist. Bei Anlagen besonders großer Leistung ist gegebenenfalls eine weitere Vergrößerung der Phasenzahl zu erwägen. Dies wird vor allem dann der Fall sein, wenn auf einer Sammelschiene eine größere Zahl Großgleichrichter arbeitet. Eine solche höhere Phasenzahl von z. B. 12 dient hier also vorwiegend zur Entlastung des Drehstromnetzes von Oberwellen.

Beim Arbeiten mit Gittersteuerung muß man die Oberwellen des Ankerstromes durch eine Glättungsdrossel begrenzen. Der Hersteller des Antriebsmotors nennt hierfür die zulässigen Werte der effektiven Welligkeit des Ankerstromes, gegebenenfalls bei verschiedenen Belastungen und Drehzahlen, und die Induktivität des Motorankers. Bei starker Herabsetzung der Drehzahl bei gleichzeitig geringer Belastung ist auch darauf zu achten, daß dann der Ankerstrom leicht zu lücken beginnt, also nicht mehr einen ununterbrochenen Gleichstrom bildet.

Im Gegensatz zu Maschinenumformern gestattet ein gesteuertes Stromrichtgefäß die Stromzuführung nur in einer Richtung. Will man also den Motor abbremsen, so muß man den Anker oder das Feld des Motors umpolen. Bei umsteuerbaren Antrieben ist folgendes zu beachten. Wenn die Drehrichtungsumkehr nur gelegentlich erfolgt, kommt man mit einem einzelnen Stromrichtgefäß und entsprechender Umschaltung aus. Bei häufigem und raschem Richtungswechsel ist jedoch die Verwendung von 2 Gefäßen in der sog. Kreuzschaltung notwendig. Dabei steht jeweils das eine Gefäß als Gleichrichter, das andere als Wechselrichter bereit. Die Umsteuerung erfolgt ohne Stromunterbrechung wie mit einem Leonard-Umformer (Bild 20).

Auch bei den Schutzeinrichtungen für den Gleichrichter sind die Besonderheiten des Motorantriebes zu berücksichtigen. Ein Unterstrom- oder Unterspannungsrelais im Erregerkreis überwacht das Motorfeld. Damit wird bei Ausfall der Erregung der Anker abgeschaltet. Bei Antrieben mit großen Schwungmassen ist ebenso wie bei Parallelbetrieb mit anderen Gleichrichtergruppen ein Rückstrom zu erwarten, wenn im Gleichrichter die Ventilwirkung versagt. Die Gittersperrung vor den Anoden genügt in diesem Falle nicht, es muß auch die Gleichstromseite sofort durch einen Schnellschalter abgetrennt werden. Bei Wechselrichterbetrieb ist der Motor sofort zu entregen.

Da der Motoranker nur dann eingeschaltet werden darf, wenn der Gitterdrehregler in der Sperrstellung steht und das Feld erregt ist, so ist eine entsprechende Verriegelung vorzusehen.

Im übrigen sind die Schutzeinrichtungen für den Betrieb der Gleichrichtergefäße selbst wie Seite 96 angegeben auszuführen.

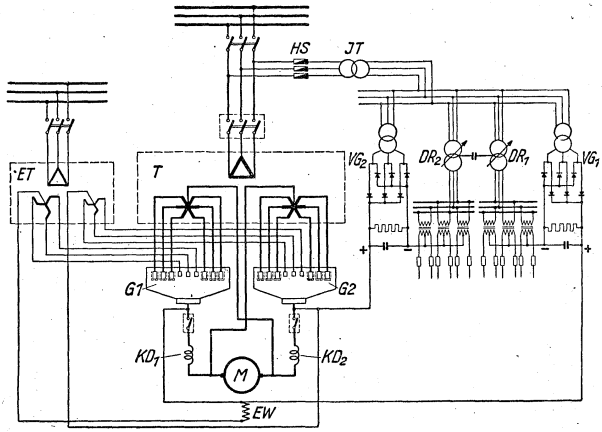
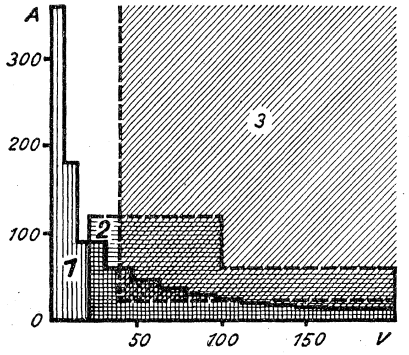


Bild 20. Umkehrbetrieb mit Stromrichterspeisung.

T = Umspanner mit 2 Sekundärwicklungen,
G1, G2 = Stromrichtgefäße,
M = Motoranker,
EW = Erregerwicklung,
KD1, KD2 = Kathodendrosseln,
DR1, DR2 = Gitter - Drehregler,
VG1, VG2 = Gittervorspannungsgeräte,
ET = Erregerumspanner,
JT = Isolierumspanner,
HS = Hochspannungssicherungen.

Übersicht über die verschiedenen Gleichrichterarten (Bild 21)

Hauptanwendungsgebiete: Spannung	Hauptanwendungsgebiete: Strom je Einheit	Gleichrichterart	Besondere Anwendungen
4...80 V	0,05...einige 1000 A	Trocken-Gleichrichter	Batterieladung, Speisung von Elektromagneten, Elektroschweißung, Elektrolysen, ortsveränderliche Anlagen
20...250 V	1...120 A	Glühkathoden-Niederspannungs-Gleichrichter ohne Steuergitter	Batterieladung, Bogenlampen, Elektromagnete
60...1500 V	20...500 A	Quecksilberdampf-Glasgleichrichter ohne und mit Steuergitter	Batterieladung, Bogenlampen, Elektromagnete; Licht-, Kraft- und Bahnnetze. — Besondere Anwendungen: Drehzahlregelung von Gleichstrommotoren, Elektrolysen, ortsveränderliche Anlagen
100...5000 V	350...8000 A	Quecksilberdampf-Eisengleichrichter ohne und mit Steuergitter	Licht- und Kraftnetze, Bahnnetze, Sendeanlagen. Besondere Anwendungen: Drehzahlregelung von Gleichstrommotoren, Elektrolyse, fahrbare Anlagen
1000...30000 V	1...50A	Glühkathoden-Hochspannungs-Gleichrichter ohne und mit Steuergitter	Sendeanlagen, Hochspannungsprüfeinrichtungen, Regelschaltungen



1 Trocken-Gleichrichter
2 Glühkathoden-Gleichrichter
3 Quecksilberdampf-Gleichrichter

Bild 21. Hauptsächliche Anwendungsbereiche der Trocken-, Glühkathoden- und Quecksilberdampf-Gleichrichter.

UMFORMER

Motorgeneratoren.

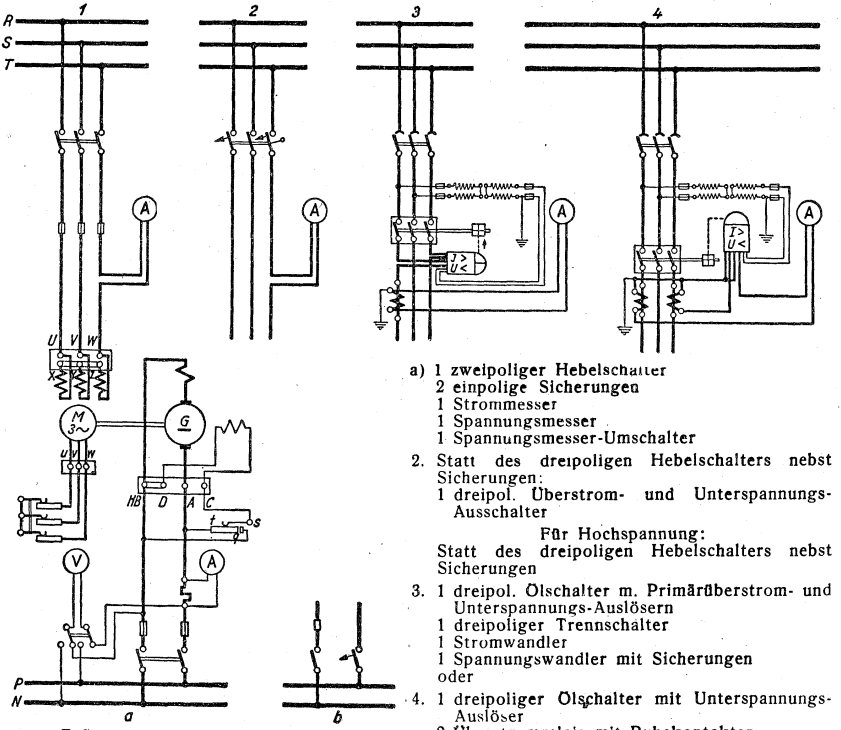
Bauart.

Der Motorgenerator besteht aus zwei meistens miteinander gekuppelten Maschinen, von denen die eine als Motor die zugeführte elektrische Energie in mechanische umwandelt, während die andere Maschine, der vom Motor angetriebene Generator, die mechanische Leistung wieder in elektrische von der gewünschten Stromart und Spannung umsetzt. Bei getrennter Aufstellung der Maschinen ist stets eine elastische Kupplung zu verwenden, während bei Verwendung einer gemeinsamen Grundplatte auch eine starre Kupplung zulässig ist. Riemenantrieb kommt nur in den seltensten Fällen in Betracht, etwa da, wo es die räumlichen Verhältnisse unbedingt erfordern.

Anwendungsgebiet.

Motorgeneratoren werden verwendet für:

1. Umformung von Wechselstrom oder Drehstrom in Gleichstrom und umgekehrt



Erforderlich für Niederspannung:

1. 1 Drehstrom-Asynchronmotor
   1 Drehstromanlasser
   1 dreipoliger Hebelschalter
   3 einpolige Sicherungen
   1 Strommesser
   1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator (direkt gekuppelt)
   1 Nebenschlußregler

a) 1 zweipoliger Hebelschalter
   2 einpolige Sicherungen
   1 Strommesser
   1 Spannungsmesser
   1 Spannungsmesser-Umschalter

2. Statt des dreipoligen Hebelschalters nebst Sicherungen:
   1 dreipol. Überstrom- und Unterspannungs-Ausschalter

   Für Hochspannung:
   Statt des dreipoligen Hebelschalters nebst Sicherungen

3. 1 dreipol. Ölschalter m. Primärüberstrom- und Unterspannungs-Auslösern
   1 dreipoliger Trennschalter
   1 Stromwandler
   1 Spannungswandler mit Sicherungen
   oder

4. 1 dreipoliger Ölschalter mit Unterspannungs-Auslöser
   2 Überstromrelais mit Ruhekontakten
   1 dreipoliger Trennschalter
   2 Stromwandler
   1 Spannungswandler mit Sicherungen

b) Statt des zweipoligen Hebelschalters nebst Sicherungen
   1 einpoliger Überstromausschalter
   1 einpoliger Hebelschalter
   1 einpolige Sicherung

Bild 1. Schaltplan für eine Umformeranlage. Asynchron-Motor-Generator.

in denjenigen Fällen, für welche die später zu behandelnden Einankerumformer und Gleichrichter sich nicht eignen;

2. Umformung von Drehstrom in Einphasenstrom oder in Drehstrom anderer Periodenzahl;
3. Umformung von Gleichstrom in Gleichstrom anderer Spannung (Sparumformer, Zusatz-, Ausgleich-, Regelsätze).

Zu 1. Bei Umformung von Drehstrom in Gleichstrom kann man für den Antrieb sowohl einen Asynchron- als auch einen Synchronmotor wählen. Der Asynchronmotor kann auf einfache Weise mittels Sterndreieckschalters oder Anlassers für geringe Last angelassen werden (Bild 1).

Für das Anlassen des Synchronmotors wird in der Regel der asynchrone Anlauf angewendet (Bild 2). In den Polschuhen des Induktors wird eine Dämpferwicklung untergebracht, vermittels welcher der Motor nach dem Einschalten wie mit einem Käfigläufer bis auf die asynchrone Drehzahl hochläuft. Während dieses Anlaufes muß die Erregerwicklung über einen Anlaufschutzwiderstand vom zehnfachen Wert des Induktorwiderstandes geschlossen sein, da sonst zu hohe Spannungen an den Schleifringen auftreten. Ist die asynchrone Drehzahl erreicht, so wird der Schutzwiderstand überbrückt und der Motor etwas erregt, wodurch er von selbst in den Synchronismus läuft. Wenn ein Magnetregler vorhanden ist, wird dieser als Schutzwiderstand verwendet und die entsprechende Stellung als Anlaufstellung kenntlich gemacht. Bei dieser unmittelbaren Einschaltung beträgt der Anlaufstrom etwa das 5...7fache des Nennstromes. Wesentlich geringer ist der Anlaufstrom bei Verwendung eines Anlaßumspanners. Dieser hat Anzapfungen, die gewöhnlich in drei Stufen bei 30, 35 und 40% der Nennspannung angeordnet werden. Der Motor wird zunächst an eine dieser Teilspannungen gelegt und, wie vor geschildert, auf seine synchrone Drehzahl hochgefahren. Nun erst wird er mittels eines dreipoligen Anlaßumschalters schnell auf die Betriebsspannung umgeschaltet. Der Anlaufstrom beträgt bei 40% Anzapfung etwa das 0,8...1,2 fache des Nennstromes. Weniger gebräuchlich ist der asynchrone Anlauf durch Sterndreieck-

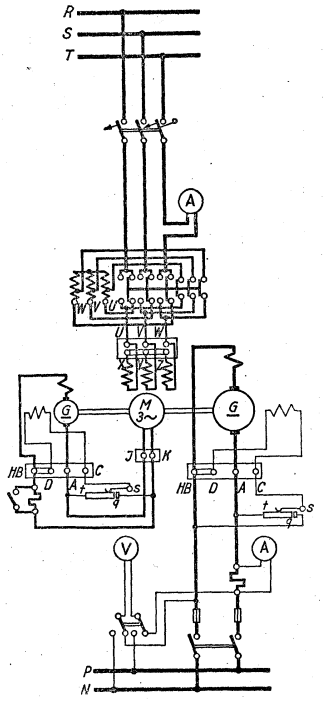


Bild 2. Schaltplan für eine Umformeranlage. Synchron-Motor-Generator, asynchrones Anlassen.

Erforderlich für Niederspannung:

1 Drehstrom-Synchronmotor
1 Anlaßtransformator
1 dreipoliger Anlaßumschalter
1 dreipoliger Überstrom-Unterspannungs-Ausschalter
1 Strommesser
1 Anlaufschutzwiderstand
1 einpoliger Hebelschalter
1 Erregermaschine
1 Nebenschlußregler
1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator (direkt gekuppelt)
1 Nebenschlußregler
1 zweipoliger Hebelschalter
2 einpolige Sicherungen
1 Strommesser
1 Spannungsmesser
1 Spannungsmesser-Umschalter

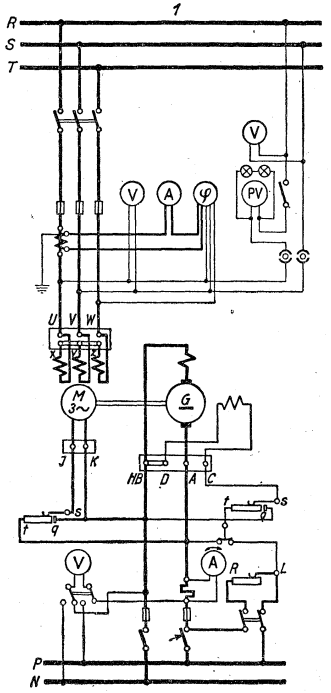
Für Hochspannung:

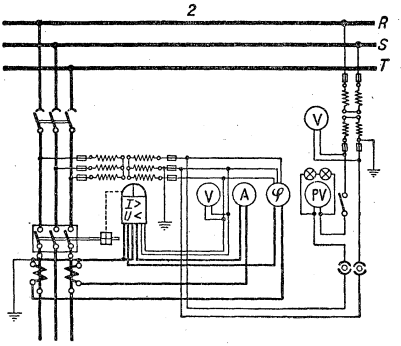
Statt des dreipoligen Überstrom-Unterspannungs-Ausschalters kommen die im Bild 1 unter 3 oder die unter 4 angegebenen Geräte in Betracht.

schalter im Ständer oder Anlasser im Ständernullpunkt; hierbei tritt etwa das 1,7...2,3fache bzw. 2,5...3,5fache des Nennstromes als Anlaßstrom auf.

Ein weiteres Anlaßverfahren ist das mittels Anwurfmotors. Als Anwurfmotor kann der Gleichstromgenerator verwendet werden, wenn eine ausreichende Gleichstromquelle zur Verfügung steht. Der Generator erhält in diesem Falle außer dem Nebenschlußregler einen Anlasser für etwa 20% der Nennlast (Bild 3). Ist Gleichstrom nicht vorhanden, so ist ein besonderer Drehstrom-Anwurfmotor erforderlich, wobei dieser eine kleinere Polzahl als der Synchronmotor haben kann (Bild 4). Beide Anlaßarten erfordern ein Synchronisieren mit dem Drehstromnetz. Der gleichpolige Anwurfmotor macht dieses dagegen entbehrlich. Er kann entweder in Verbindung mit einer Überschaltdrosselspule oder in Rosenberg-Schaltung verwendet werden. Bei der letzteren Schaltung, die verhältnismäßig selten zur Anwendung kommt, wird die Ständerwicklung des Anwurfmotors mit der des Synchronmotors in Reihe geschaltet und nach dem Hochlauf überbrückt.

Der Synchronmotor hat vor dem Asynchronmotor den Vorteil, daß seine Drehzahl bei jeder Belastung gleichbleibt. Sein Leistungsfaktor ist 1, und er kann durch Über-





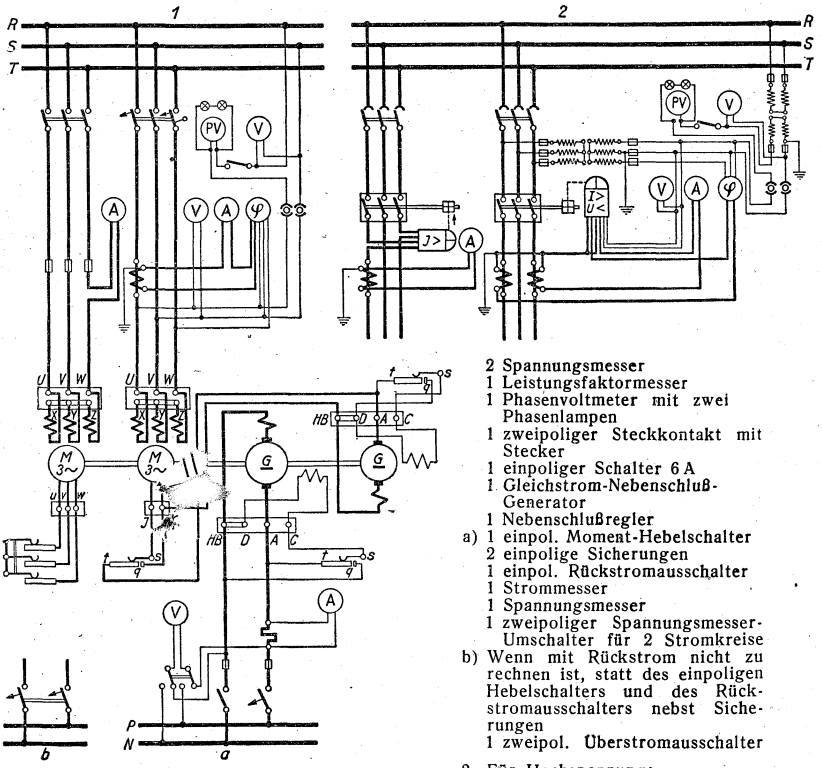
Erforderlich:

1. Für Niederspannung:
   - 1 Drehstrom-Synchron-Motor
   - 1 Magnetregler
   - 1 dreipoliger Hebelschalter
   - 3 einpolige Sicherungen
   - 1 Stromwandler
   - 1 Strommesser
   - 2 Spannungsmesser
   - 1 Leistungsfaktormesser
   - 1 Phasenvoltmeter mit 2 Phasenlampen
   - 1 zweipoliger Steckkontakt mit Stecker
   - 1 einpoliger Schalter 6 A
   - 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
   - 1 Nebenschlußregler
   - 1 Gleichstromanlasser
   - 1 einpoliger Moment-Hebelschalter
   - 2 einpolige Sicherungen
   - 1 einpoliger Rückstromausschalter
   - 1 zweipoliger Moment-Hebelschalter
   - 1 einpol. Hebelumschalter ohne Unterbrechung
   - 1 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
   - 1 Spannungsmesser
   - 1 zweipoliger Spannungsmesser-Umschalter
2. Für Hochspannung:
   Statt des dreipoligen Hebelschalters nebst Sicherungen
   - 1 dreipoliger Trennschalter
   - 1 dreipoliger Ölschalter mit Unterspannungs-Auslöser
   - 2 Überstromrelais mit Ruhekontakten
   - 2 Stromwandler
   - 2 Spannungswandler mit Sicherungen

Bild 3. Schaltplan für eine Umformeranlage.
Synchron-Motor-Generator, Anlassen von der Gleichstromseite aus.

erregung auch den schlechteren Leistungsfaktor anderer Motoren ausgleichen. Näheres siehe unter „Elektrische Einrichtungen zur Verbesserung des Leistungsfaktors".

Zu 2. Zur Umformung von Drehstrom in Einphasenstrom oder in Drehstrom anderer Periodenzahl verwendet man Frequenzumformer. Hier ist zu unterscheiden, ob die Energie aus dem einen Netz in ein zweites, bereits mit anderer Frequenz arbeitendes Netz übertragen werden soll oder in ein Netz, das keine weitere Stromquelle hat. Im ersten Fall sind zum Ausgleich der Schwankungen beider Periodenzahlen besondere Einrichtungen, wie Drehstromkommutatormotoren und Drehregler, erforderlich. Im



Erforderlich:

1. Für Niederspannung:
   - 1 Drehstrom-Synchron-Motor
   - 1 Magnetregler
   - 1 Drehstrom-Asynchron-Motor
   - 1 Drehstromanlasser
   - 1 Erregermaschine
   - 1 Nebenschlußregler
   - 1 dreipoliger Hebelschalter
   - 1 dreipoliger Überstrom-Unterspannungsausschalter
   - 3 einpolige Sicherungen
   - 1 Stromwandler
   - 2 Strommesser
   - 2 Spannungsmesser
   - 1 Leistungsfaktormesser
   - 1 Phasenvoltmeter mit zwei Phasenlampen
   - 1 zweipoliger Steckkontakt mit Stecker
   - 1 einpoliger Schalter 6 A
   - 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
   - 1 Nebenschlußregler

   a) 1 einpol. Moment-Hebelschalter
   - 2 einpolige Sicherungen
   - 1 einpol. Rückstromausschalter
   - 1 Strommesser
   - 1 Spannungsmesser
   - 1 zweipoliger Spannungsmesser-Umschalter für 2 Stromkreise

   b) Wenn mit Rückstrom nicht zu rechnen ist, statt des einpoligen Hebelschalters und des Rückstromausschalters nebst Sicherungen
   - 1 zweipol. Überstromausschalter

2. Für Hochspannung:

   Statt des dreipol. Hebelschalters nebst Sicherungen und des dreipoligen Überstrom-Ausschalters
   - 2 dreipolige Trennschalter
   - 1 dreipoliger Ölschalter mit Primärüberstrom-Auslösern
   - 1 dreipoliger Ölschalter mit Unterspannungs-Auslöser
   - 2 Überstromrelais mit Ruhekontakten
   - 2 Stromwandler
   - 2 Spannungswandler mit Sicherungen

Bild 4. Schaltplan für eine Umformeranlage. Synchron-Motor-Generator, Anlassen durch einen Asynchron-Anwurfmotor.

zweiten Fall werden 2 Synchronmaschinen oder eine Asynchron- und eine Synchronmaschine verwendet. Diese werden je nach den durch das Frequenzverhältnis gegebenen Drehzahlen entweder unmittelbar oder über ein Zwischenvorgelege gekuppelt.

Für Betriebe, die eine genaue Einhaltung der Periodenzahl nicht erfordern oder Drehzahlen nötig haben, die mit der vorhandenen Frequenz nicht erreichbar sind, verwendet man Frequenzwandler. Sie bestehen gewöhnlich aus einem Asynchronmotor und aus einem Generator, der seinem Wesen nach ebenfalls ein Asynchronmotor ist. Sein Ständer wird durch das vorhandene Netz erregt, während der Läufer, der von dem Motor angetrieben wird, die gewünschte Frequenz liefert. Durch entsprechende Wahl der Polzahlen beider Maschinen lassen sich Frequenzen in verschiedener Höhe erzeugen. Bei Antriebsmotoren mit Drehzahlregelung ist die Frequenz regelbar.

Zu 3. Die Umformung von Gleichstrom in Gleichstrom ist überall da erforderlich, wo eine vorhandene Gleichstromspannung erhöht, erniedrigt oder regelbar gemacht werden soll. Dies kann in der Weise erfolgen, daß die gesamte Leistung im Umformersatz umgesetzt wird, wobei eine gewisse Unabhängigkeit von dem vorhandenen Gleichstromnetz gewährleistet ist. Man wendet aber auch die teilweise Umformung an, bei der nur die positive oder negative Zusatzleistung umgeformt wird, und bei der man mit kleineren Maschinen auskommt.

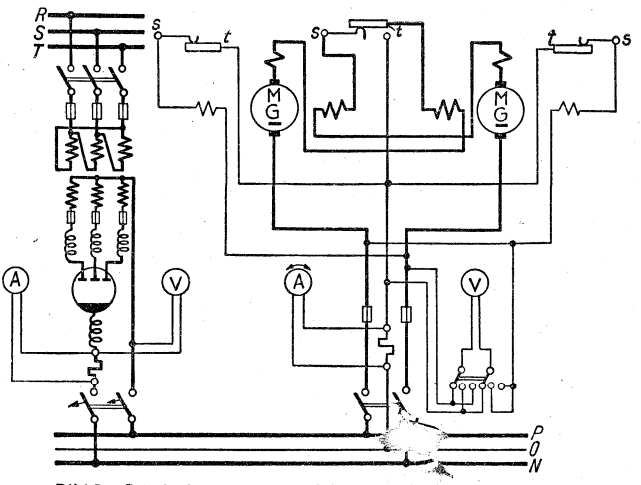


Bild 5. Schaltplan eines Ausgleichssatzes für selbsttätige Spannungsregelung.

Bei Ladesätzen muß der Generator für erhöhte Ladespannung ausgelegt werden, die Drehzahl ist für die höchste Gleichstromspannung zu bemessen. Zur Einstellung der Spannung ist gewöhnlich der nächstgrößere Regler als bei normalen Verhältnissen erforderlich. Da die Leistung des Generators nicht erhöht werden darf, ist mit der Steigerung der Spannung die Stromstärke herabzusetzen. Für den Antriebsmotor ist ein Anlasser für Anlauf mit halber Last erforderlich.

Um eine gleichbleibende Spannung in eine ebenfalls gleichbleibende von anderem Werte umzuwandeln, bedient man sich des Sparumformers. Bei diesem wird die eine Maschine für die kleinere Spannung, die andere für die Differenz der beiden Spannungen ausgelegt, und es werden beide Maschinen in Reihe geschaltet. Diese Schaltung lohnt jedoch nur, wenn das Verhältnis der beiden Spannungen nicht größer als 1:3 ist.

Ein besonderes Anwendungsgebiet des Sparumformers ist der Ausgleichsmaschinensatz. Er dient zum Teilen der Außenleiterspannung eines Netzes und zum Ausgleich der verschiedenen Belastungen in den beiden Netzhälften. Beide Maschinen werden in Reihe an die Außenleiterspannung gelegt und jede für die halbe Mittelleiterstromstärke bemessen. Bei ungleicher Lastverteilung in den beiden Netzhälften arbeitet die Maschine in der höher belasteten Netzhälfte als Generator und gleicht so die entstandene Spannungsdifferenz aus, während die andere Maschine als Antriebsmotor

wirkt. Die Erregung erfolgt über Kreuz, d. h. jede Maschine wird durch die andere Netzhälfte erregt. Erforderlich sind zwei Nebenschlußregler und ein Anlasser mit Nullklemme, der für die Nennleistung einer Maschine bemessen sein muß.

Diese Art der Spannungsteilung findet hauptsächlich in Quecksilberdampf-Gleichrichteranlagen Anwendung, da eine Nullpunktbildung im Gleichrichter selbst bekanntlich nicht möglich ist und die Aufstellung einer Sammlerbatterie wegen der teuren Wartung in den meisten Fällen ausscheidet. Gewöhnlich erhalten die beiden Ausgleichsmaschinen zur selbsttätigen Spannungsregelung je eine Kompoundwicklung (Bild 5), die, ebenso wie die Nebenschlußwicklung, über Kreuz angeschlossen werden und das sonst bei Belastungsänderungen erforderliche Nachstellen der Regler entbehrlich machen. Ferner kann auch das Anlassen des Maschinensatzes durch Verwendung eines Selbstanlassers selbsttätig erfolgen. Diese Einrichtung hat noch den Vorteil, daß infolge der elektrischen Verriegelung des Anlassers mit dem Netzschalter dieser erst nach dem Anlauf der Maschinen, also erst nach erfolgter Nullpunktbildung, eingeschaltet werden kann.

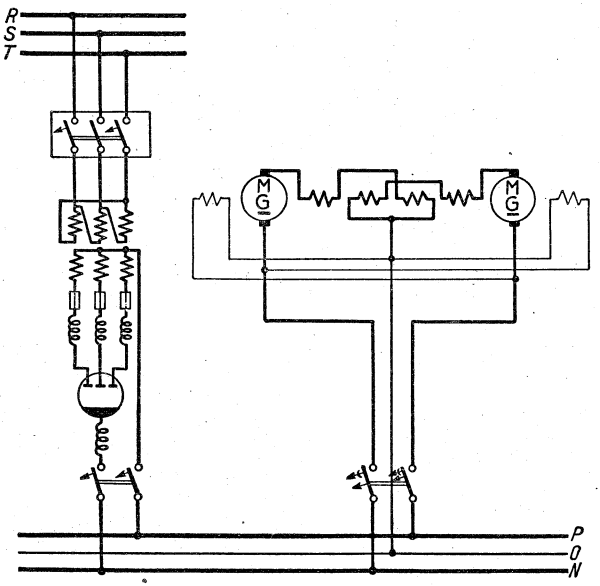


Bild 6. Grundsätzlicher Schaltplan eines Ausgleichssatzes für selbsttätigen Anlauf und selbsttätige Spannungsregelung.

Bei Kupplung des Ausgleichssatzes mit einer Zusatzmaschine (Dreimaschinensatz) dienen die Ausgleichsmaschinen als Antriebsmotoren für die Zusatzmaschine.

Der Betrieb der Ausgleichssätze in dieser üblichen Ausführung hat häufig zu Schwierigkeiten und Störungen geführt, wenn sich die zugeführte Netzspannung stark ändert, absinkt und plötzlich wiederkehrt. Für den Ausgleichssatz bedeutet aber eine Spannungsabsenkung ein Zurückfallen der Drehzahl und die Wiederkehr der Spannung einen neuen Anlaßvorgang, der mit den üblichen Anlaßgeräten erfolgen muß. Die AEG hat nun eine Sonderschaltung entwickelt, die es gestattet, den Ausgleichssatz einfach durch Einlegen des Hauptschalters in Betrieb zu setzen (Bild 6). Er kann daher auch bei Spannungsabsenkung oder Ausbleiben der Spannung eingeschaltet bleiben, da er sofort anläuft, wenn die Spannung wiederkehrt. Bei diesen Ausgleichssätzen erhält jede Maschine zwei Kompoundwicklungen, von denen die eine vom eigenen Strom, die andere vom Strom der anderen Maschine erregt wird. Im Anlauf wirken beide Wicklungen im gleichen Sinn feldverstärkend, wodurch die Einschaltspitze des Anlaufstromes begrenzt wird und vor allem das Hochlaufen in sehr kurzer Zeit erfolgt. Nach dem Hochlauf sind die Maschinenströme einander entgegengesetzt, so daß sich die Kompoundwicklungen gegenseitig aufheben. Natürlich wird man die von dem Strom der anderen Maschine durchflossene Wicklung zwecks selbsttätiger Spannungsregelung mit größerer Windungszahl auslegen. Die Anlaufzeit beträgt 0,2...0,3 s. Der Anlaufspitzenstrom erreicht das 3,5...6fache des Mittelleiterstromes, der im allgemeinen

10...20% der Maschinen- bzw. der Gleichrichternennlast beträgt. Statt der Nebenschlußregler werden Widerstände verwendet, die im Prüffeld fest eingestellt und zusammen mit den beiden Maschinen auf eine gemeinsame Grundplatte aufgebaut werden. Der Maschinensatz wird fertig geschaltet geliefert, so daß lediglich die drei Klemmen an das Netz anzuschließen sind. Als Schutz werden zweckmäßig Überstromrelais mit Zeitverzögerung oder bei kleineren Leistungen auch Motorschutzschalter verwendet. In beiden Fällen muß bei Überstrom der Drehstrom-Netzschalter und bei gleichstromseitigem Parallelbetrieb auch gleichzeitig der Gleichstrom-Netzschalter zum Ausschalten gebracht werden.

Zusatzmaschinensätze erfordern für den Generator stets Fremderregung, da er für weitgehende Spannungsregelung ausgelegt werden muß. Die Erregung wird unter Verwendung eines Sonderreglers, der gewöhnlich für 20% größere Erregerleistung zu bemessen ist, dem vorhandenen Netz entnommen. Die Leistung des Generators ist gleich dem Produkt aus der Ladestromstärke und der höchsten Zusatzspannung. Für den Antrieb ist ein Motor vorzusehen, dessen Leistung unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Generators zu bemessen ist. Der Anlasser wird für Anlauf mit geringer Last gewählt.

In Gleichstromnetzen mit hohen Belastungsstößen, z. B. bei Kranbetrieben, verwendet man Puffersätze in Verbindung mit Sammlerbatterien. Solche Puffersätze (Booster) werden nach verschiedenen Schaltungen ausgeführt, von denen die gebräuchlichsten diejenigen nach Lancashire, Pirani und Highfield sind. Bei allen Anordnungen wird die Erregung des Puffergenerators von der Verbraucherstromstärke beeinflußt und so die Batterie, je nach der Höhe des Netzstromes, zur Stromabgabe herangezogen oder durch die Puffermaschine aufgeladen. Bei der Lancashire-Schaltung ist durch Anordnung einer besonderen Erregerwicklung bei entsprechender Reglereinstellung auch eine Aufladung während der Pufferung möglich. Für die Größe der Maschinen ist die Lade- und Entladestromstärke maßgebend.

Zur weitgehenden Drehzahlregelung von Gleichstrommotoren verwendet man besondere Regelsätze. Man führt hier nach der Leonard-Schaltung dem Gleichstrommotor von dem Generator des Regelsatzes einen Strom mit veränderlicher Spannung zu, der eine entsprechende Änderung der Drehzahl des Motors bewirkt. Die Maschinen haben hierbei Fremderregung, die der vorhandenen Gleichstromquelle mit fester Spannung entnommen wird. Für den zu regelnden Motor ist ein Nebenschlußregler nicht erforderlich, da seine Erregung bei allen Drehzahlen konstant bleiben muß. Wenn nur Drehstrom zur Verfügung steht, so wird die für die Erregung des Generators und des zu regelnden Motors erforderliche Energie von einem besonderen, mit dem Regelsatz gekuppelten kleinen Gleichstromgenerator geliefert (Bild 7).

Für Sonderzwecke und besonders dann, wenn ein Gleichstromnetz vorhanden ist, empfiehlt sich die Zu- und Gegenschaltung. Bei dieser erhält der Generator des Regelsatzes Fremderregung und wird mit dem vorhandenen Gleichstromnetz hintereinandergeschaltet. Er erzeugt dann bei entsprechender Nebenschlußregelung eine positive oder eine negative Zusatzspannung, deren Höhe dem Regelbereich des Regelsatzes entspricht. Sie darf im Höchstfalle gleich

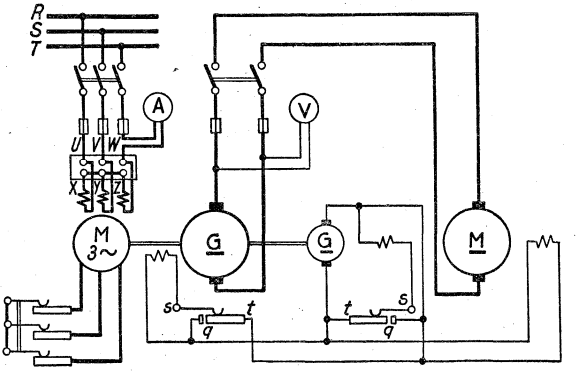


Bild 7. Schaltplan eines Regelsatzes (Leonard-Schaltung).

der Netzspannung gewählt werden, wobei sich als Summenspannung für das Netz und die Zusatzmaschine ein zwischen Null und doppelter Netzspannung regelbarer Wert ergibt. Für derartige Regelsätze sind stets Sonderausführungen erforderlich.

Schwungradumformer. Ist ein Netz für den unmittelbaren Anschluß einer Belastung von stark und schnellwechselndem Kraftbedarf wegen der Auswirkungen auf die übrigen Stromverbraucher ungeeignet, dann kann in manchen Fällen die Zwischenschaltung eines Schwungradumformers Abhilfe bringen. Ein bekanntes Beispiel aus der Schwerindustrie ist der Ilgner-Umformer bei Förder- und Walzwerksanlagen. Die vielseitige Anpassungsfähigkeit an eine gestellte Aufgabe ist beispielsweise bei der Stromversorgung von großen Punkt- und Stumpfschweißmaschinen ausgenutzt, die gekennzeichnet ist durch eine rasche Aufeinanderfolge überaus heftiger Stromstöße. Daneben ist auch der unmittelbare Netzanschluß unerwünscht wegen der einphasigen, d. h. unsymmetrischen Netzbelastung bei sehr schlechtem Leistungsfaktor. Der Schwungradumformer bewirkt in diesem Sonderfall sowohl eine in sich ausgeglichene als auch eine auf die drei Netzphasen gleichmäßig verteilte Belastung durch Verwendung eines Drehstrommotors mit ungleich besserem Leistungsfaktor für den Antrieb des die Schweißmaschine speisenden Einphasengenerators, dessen stoßartige Belastungsspitzen unmittelbar vom Umformer selbst aufgefangen werden.

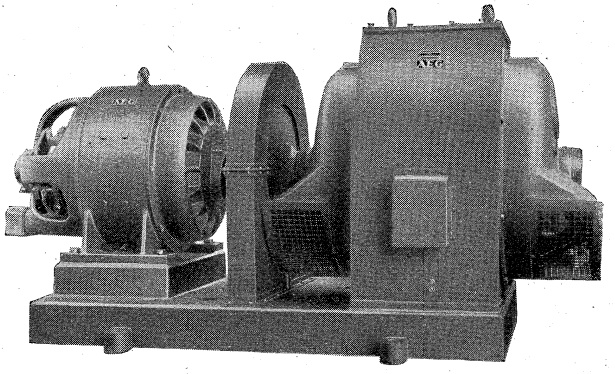


Bild 8. Motorgenerator zum Antrieb einer Stumpfschweißmaschine.

Die ausgleichende Wirkung des auf der Umformerwelle angeordneten Schwungrades beruht darauf, daß bei hoher Belastung des Umformergenerators den Schwungmassen lebendige Kraft zur Unterstützung des Antriebsmotors entzogen, bei geringer Belastung dagegen das ursprüngliche Arbeitsvermögen des Schwungrades wiederhergestellt wird, wobei sich die Motorleistung auf einen Mittelwert einstellt. Die Voraussetzung für das wechselnde Entladen bzw. Wiederaufladen der Schwungmassen ist eine abnehmende bzw. zunehmende Drehzahl. Je größer diese Drehzahländerung, um so besser das Arbeitsvermögen des Schwungrades. Für den Arbeitsausgleich müssen also die Schwungmassen und die Drehzahländerung aufeinander abgestimmt sein.

Ist der Umformermotor eine Gleichstrommaschine, dann muß sie eine Verbundwicklung erhalten, welche bei Belastungszunahme eine Drehzahlabsenkung, bei Belastungsabnahme einen Drehzahlanstieg bewirkt. Bei Wechselstrom ist ein Synchronmotor wegen der frequenzgebundenen Drehzahl unbrauchbar, es kann nur ein Asynchronmotor verwendet werden. Der natürliche Drehzahlabfall einer solchen Maschine von nur 3—4% zwischen Leerlauf und Vollast ist aber für das wirkungsvolle Eingreifen des Schwungrades viel zu gering und muß durch zusätzliche Widerstände im Läuferkreis vergrößert werden. Bei kleinen und mittelgroßen Motoren bleibt dieser sogenannte Schlupfwiderstand dauernd eingeschaltet, während bei großen Motoren zur Verminderung der Verluste ein Schlupfregler Verwendung findet, der bei steigender Belastung den Schlupfwiderstand selbsttätig einschaltet bzw. vergrößert und bei abnehmender Belastung wieder abschaltet. Bild 8 zeigt einen Schwungradumformer

für den Betrieb einer Schienenschweißmaschine, mit einer Nennleistung des Antriebsmotors von etwa 140 kW. Das fliegend auf dem antriebsseitigen Wellenende des Generators aufgesetzte Schwungrad ist durch eine Blechhaube verkleidet.

Einanker-Umformer.

Bauart.

Einankerumformer unterscheiden sich von Gleichstrommaschinen in ihrem äußeren Aufbau hauptsächlich durch das Vorhandensein der Schleifringe auf der dem Kommutator entgegengesetzten Seite. Über die Schleifringe wird bestimmten Punkten der Ankerwicklung der Wechselstrom zugeführt. Dieselbe Ankerwicklung liegt somit

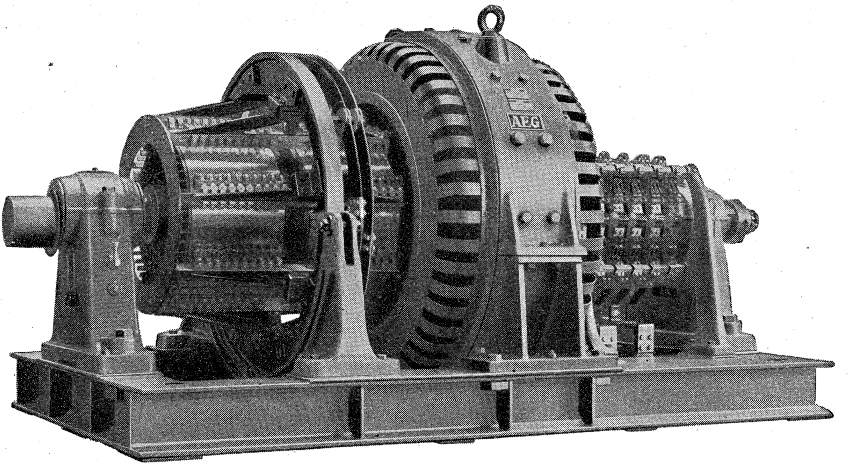


Bild 9. Einankerumformer für größere Leistungen.

gleichzeitig im Wechselstromkreis und im Gleichstromkreis. Der Einankerumformer zeigt deshalb auch verschiedene Eigenschaften beider Maschinenarten. Wie jede Synchronmaschine hat er eine durch Netzfrequenz und Polzahl bestimmte gleichbleibende synchrone Drehzahl, neigt bei Überlastung zum Pendeln und kann schließlich außer Tritt fallen. Kleinere Umformer, für etwa 40—150 kW, werden als Lagerschildtypen ausgeführt, größere Umformer dagegen mit Stehlagern auf gemeinsamer Grundplatte (Bild 9). Alle Einankerumformer werden mit Wellenspiel ausgerüstet, durch welches eine Rillenbildung am Kommutator und den Schleifringen verhindert wird. Dies ist eine Vorrichtung, die auf die eine Stirnfläche der Welle wirkt und ein periodisches axiales Pendeln des Läufers veranlaßt.

Anwendungsgebiet.

Einankerumformer können zur Umformung von Drehstrom in Gleichstrom und umgekehrt verwendet werden, jedoch müssen sie für letztere Zwecke eine Zusatzwicklung erhalten. Sie werden für gleichbleibende Spannung oder für eine Spannungsregelung innerhalb der Grenzen ± 25% gebaut. Bei höheren Spannungsgrenzen, bei größeren, plötzlich auftretenden Spannungsänderungen im Netz und wenn hierbei Parallelbetrieb mit anderen Gleichstromgeneratoren gefordert wird, ist es ratsam, Motorgeneratoren zu verwenden.

Vorteile der Einankerumformer.

Einankerumformer haben einen hohen Wirkungsgrad, niedrige Anschaffungskosten, ein geringes Gewicht, geringen Platzbedarf und einfache Spannungsteilung. Der Lei-

stungsfaktor ist normalerweise 1. Sie können auch zur Verbesserung des Netzleistungsfaktors der Anlage, besonders bei Teilbelastungen und bei Leerlauf, herangezogen werden.

Spannungsverhältnisse.

Bis etwa 50 kW werden die Einankerumformer dreiphasig, für höhere Leistungen im allgemeinen sechsphasig gebaut. Bei Vollast und $\cos\varphi = 1$ ist bei dreiphasigen Umformern das Verhältnis der Drehstrom- zur Gleichstromspannung 0,65 bis 0,69, bei sechsphasigen Umformern 0,73 bis 0,76. Das Verhältn der Stromstärke je Schleifring der Drehstromseite zur Gleichstromseite beträgt bei dreiphasigen Umformern etwa 0,94 und bei sechsphasigen etwa 0,47.

Beispiel. Für einen Einankerumformer von 200 kW Leistung und 230 V Gleichstrom liegen bei Vollast und $\cos\varphi = 1$ die Spannungs- und Stromverhältnisse ungefähr wie folgt:

	Gleichstromseite	Drehstromseite	
		Dreiphasig	Sechsphasig
Spannung V	230	154	175
Stromstärke A	870	818	409

Das Übersetzungsverhältnis zwischen Drehstrom- und Gleichstromspannung liegt fest, deshalb ist zur Erzielung der verlangten Gebrauchsspannung fast stets noch ein Umspanner erforderlich. Der Anschluß von mehreren Einankerumformern, die gleichstromseitig parallel arbeiten, an einen gemeinsamen Umspanner ist zu vermeiden, da die Gefahr von störenden Ausgleichströmen besteht. Das Übersetzungsverhältnis ändert sich mit der Belastung nur wenig. Der Spannungsabfall zwischen Leerlauf und Vollast beträgt ungefähr 4 bis 6%.

Spannungsregelung.

Drosselspulen stellen die einfachste und billigste Möglichkeit der Spannungsregelung dar. Sie werden meistens zwischen die Sekundärwicklung des Umspanners und den Umformer geschaltet und sind für kleinere Umformer und eine Spannungsregelung bis ± 5% verwendbar. Nachteilig ist hierbei, daß eine Phasenverschiebung eintritt, wodurch verstärkte Feldspulen erforderlich werden, ebenso fällt der Umspanner etwas größer aus. Eine unabhängige Einstellung der Spannung und des Leistungsfaktors ist nicht möglich. Es ergibt sich vielmehr bei

stärkerem Erregen: Stromvoreilung und höhere Spannung,
schwächerem Erregen: Stromnacheilung und niedrigere Spannung.

Gewöhnlich wird die Drosselspule so gewählt, daß bei Vollast und höchster Gleichstromspannung der Leistungsfaktor auf der Primärseite des Umspanners etwa $\cos\varphi = 1$ ist, also der Blindverbrauch des letzteren ausgeglichen wird.

Ein Dreh-Umspanner (Bild 10) kommt für Regelung der Spannung bis ± 25% in Betracht. Im Aufbau gleicht er einem Drehstrom-Asynchronmotor, dessen Läufer durch einen Schneckenantrieb festgehalten wird und um eine Polteilung beliebig gedreht werden kann. Von der in Sparschaltung ausgeführten Wicklung befindet sich gewöhnlich auf dem Läufer die Primärwicklung. Die im Ständer liegende Sekundär-

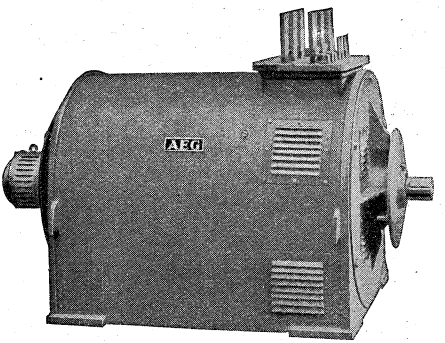
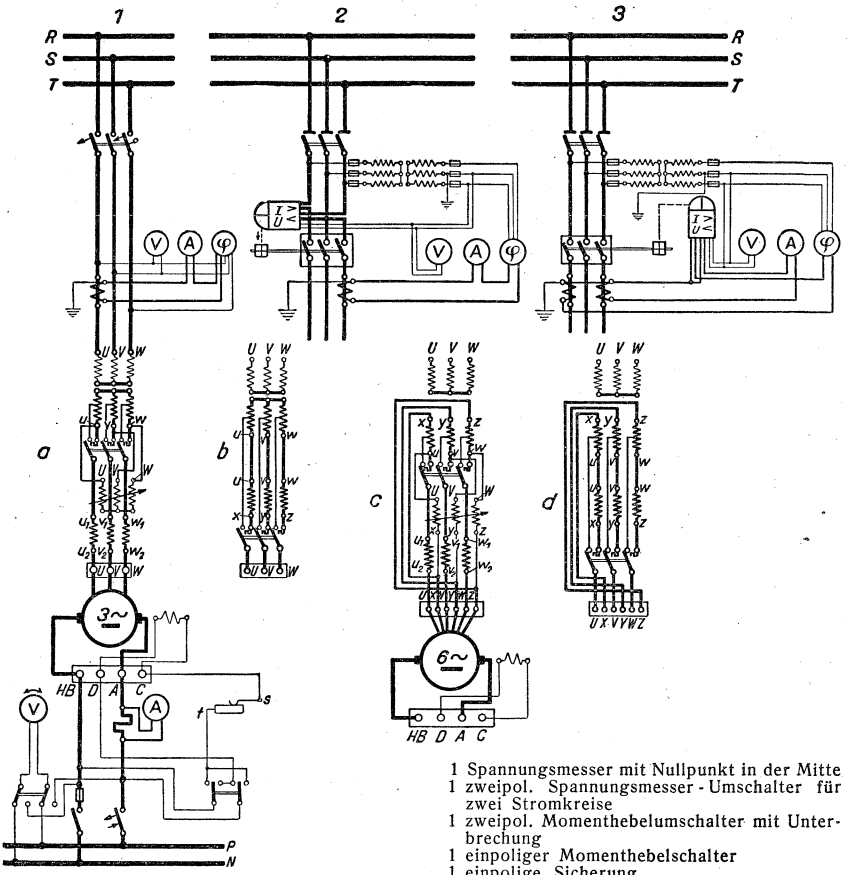


Bild 10. Drehumspanner für größere Leistungen, Antrieb abgenommen, Anschlüsse oben angeordnet.

wicklung ist gewöhnlich zwischen die Unterspannungsseite des Umspanners und den Umformer geschaltet, wird also von dem Schleifringstrom durchflossen. Bei dieser Art der Regelung können Spannung und Leistungsfaktor unabhängig voneinander



Erforderlich:

1. Für Niederspannung:
   1 dreiphas. Drehstrom-Gleichstrom-Einankerumformer
   1 Transformator
   1 Nebenschlußregler
   1 dreipoliger Überstrom-Unterspannungsausschalter
   1 Stromwandler
   1 Strommesser
   1 Spannungsmesser
   1 Leistungsfaktormesser
   1 dreipoliger Hebelumschalter mit
   1 Überschaltwiderstand
   1 Strommesser
   1 Spannungsmesser mit Nullpunkt in der Mitte
   1 zweipol. Spannungsmesser-Umschalter für zwei Stromkreise
   1 zweipol. Momenthebelumschalter mit Unterbrechung
   1 einpoliger Momenthebelschalter
   1 einpolige Sicherung
   1 einpoliger Überstrom-Rückstrom-Ausschalter
2. Für Hochspannung:
   1 dreipoliger Trennschalter
   1 dreipoliger Ölschalter mit Primärüberstrom- und Unterspannungs-Auslösern
   1 Spannungswandler mit Sicherungen
3. oder
   1 dreipoliger Ölschalter mit Unterspannungs-Auslöser
   2 Überstromrelais mit Ruhekontakten

Für Spannungsregelung, Umformer dreiphasig:
a) 1 dreiphasiger Drehregler
b) 1 dreiphasige Drosselspule

Für Spannungsregelung, Umformer sechsphasig:
c) 1 dreiphasiger Drehregler
d) 1 dreiphasige Drosselspule

Bild 11. Schaltplan für eine Einanker-Umformer-Anlage.
Asynchrones Anlassen von der Drehstromseite aus. Gleichstrom-Zweileiter-Anlage.

ander durch Verstellung des Dreh-Umspanners und des Nebenschlußreglers eingestellt werden. Man ist also in der Lage, den Leistungsfaktor dauernd auf cos $\varphi = 1$ zu halten. Der Umformer arbeitet hierbei mit geringsten Verlusten, also mit günstigstem Wirkungsgrad.

Bei sehr großen Stromstärken kann der Drehumspanner auch auf die Primärseite des Umspanners gelegt werden. Er wird dann in jedem Falle nur dreiphasig, hat kleinere Kupferquerschnitte, muß aber ausreichende Isolationsverstärkung gegen Sprungwellenbeanspruchung erhalten. Der dann mit wechselnder Sättigung arbeitende Hauptumspanner muß etwas reichlicher bemessen werden.

Der Drehumspanner wird von dem Umformer getrennt an beliebiger Stelle aufgestellt und mit einem besonderen kleinen Lüfter ausgerüstet.

Selbsttätige Spannungsregelung. Wenn bei schwankender Drehstromspannung die Gleichstromspannung selbsttätig gleich gehalten werden soll, kann die Regelung durch ein auf der Gleichstromseite liegendes Relais erfolgen, welches eine entsprechende Verstellung des Drehumspanners oder bei Drosselspulregelung des Nebenschlußreglers einleitet. Da hierzu eine gewisse Zeit erforderlich ist, können nur langsamere Schwankungen, nicht aber häufige kurze Stöße ausgeglichen werden. Für diese Fälle, die eine Schnellregelung erfordern, ist besser der Thoma-Regler geeignet, der unmittelbar auf die Welle des Nebenschluß- bzw. des Drehreglers arbeitet. Soll bei konstanter Drehstromspannung die Gleichstromspannung selbsttätig gleich gehalten werden, so genügt eine Kompoundierung unter Verwendung einer Drosselspule.

Spannungsteilung.

Die Spannungsteilung in Dreileiteranlagen ist bei Dreiphasenumformern in einfachster Weise durch Anschluß des Nulleiters an den Sternpunkt der Niederspannungsseite des Umspanners möglich. Bei Sechsphasenumformern erhält der Umspanner offene Dreiphasenwicklung, deren drei Mittelpunkte zu einem Sternpunkt miteinander verbunden werden müssen. Dies erfolgt gewöhnlich durch einen dreipoligen Hebelschalter, der aber erst nach erfolgtem Hochlauf des Umformers eingeschaltet werden darf. Bei diesen Umformern muß auch die Drosselspule bzw. der Drehumspanner sechsphasig ausgeführt werden, damit die Spannungsregelung in beiden Netzhälften möglich ist. Der Mittelleiter kann bis zu 25% des Außenleiterstromes belastet werden, eine Verschlechterung des Wirkungsgrades tritt hierbei praktisch nicht auf.

Anlassen.

Asynchrones Anlassen (Bild 11). Diese Anlaßart ist die weitaus gebräuchlichste. Hierbei wird der Nebenschlußregler in die Anlaufstellung gebracht und der Umformer durch einen Anlaßumschalter an eine durch Anzapfung auf der Sekundärseite des Umspanners erhaltene Teilspannung gelegt. Diese beträgt etwa 25...35% der Vollastspannung. Beim Einschalten des Schalters läuft dann der Umformer zunächst wie ein Kurzschlußläufermotor an, da die in den Polschuhen untergebrachte Dämpferwicklung als Kurzschlußwicklung wirkt. Mit zunehmender Drehzahl erregt er sich selbst und läuft dadurch von selbst in den Synchronismus. Die Feldwicklung ist beim Anlauf über den Anker und den Nebenschlußregler geschlossen, ein Öffnen des Feldkreises ist während des Anlaufes unbedingt zu verhindern, da die sonst induzierten hohen Spannungen (etwa zehnfache Betriebsspannung) Wicklung und Bedienungspersonal gefährden.

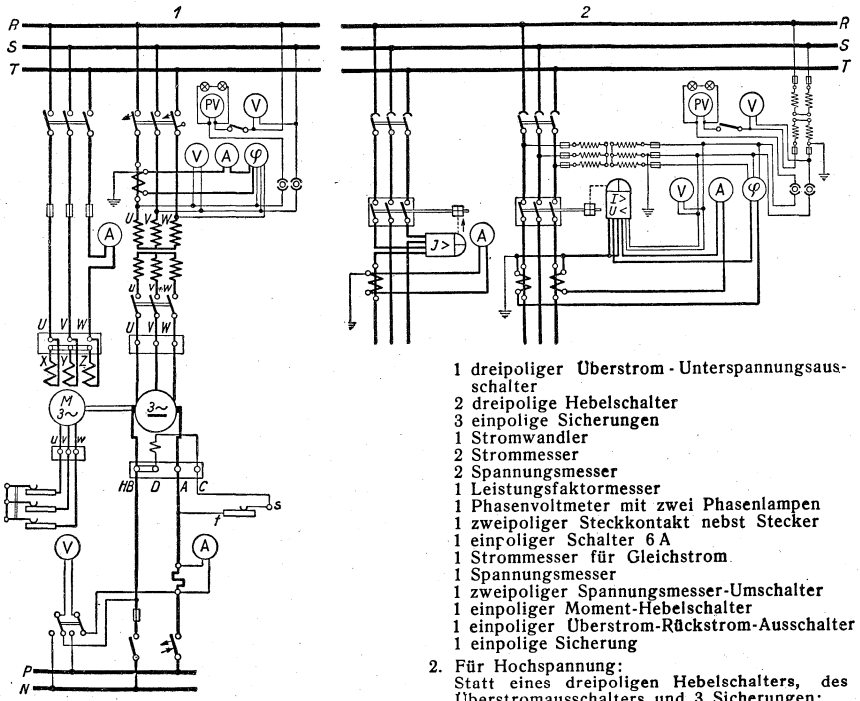
Die Polarität auf der Gleichstromseite kann hierbei verschieden ausfallen. Zur Herstellung der richtigen Polarität können, solange der Umformer noch an Anlaufspannung liegt, verschiedene Verfahren angewendet werden.

Die gebräuchlichste Schaltungsart, die bei Umformern jeder Größe üblich ist, besteht in dem Umpolen des Erregerfeldes durch einen zweipoligen Feldpolumschalter. Sobald der Umformer daraufhin um eine Polteilung zurückfällt, legt man, wenn der Gleichstromspannungsmesser mit beiderseitigem Ausschlag durch Null hindurchgehend nach der anderen Seite ausschlagen will, den Feldpolumschalter wieder in die alte

Stellung zurück und hat nun die richtige Polarität. Würde man den Umschalter nicht wieder zurückschalten, so würde sich der Umformer von neuem umpolen, immer weiter zurückfallen und nicht in Tritt bleiben.

Bei kleineren Umformern, oder wenn trotz Feldumpolung ein Schlüpfen nicht eintritt, kann man drehstromseitig mit dem Hauptschalter kurzzeitig abschalten und wieder einschalten, bis die richtige Polarität erreicht ist. Kleine Umformer mit geringer Stromstärke können am einfachsten mittels eines Umschalters im Hauptstromkreis der Gleichstromseite umgeschaltet werden. Mit diesem ist es immer möglich, gleichgültig wie die Polarität ausgefallen ist, den Umformer in richtiger Schaltung an das Netz zu legen.

Bei großen Einankerumformern, deren Trägheit schnelle Änderungen der Drehzahl verhindert, kann man auch kurz vor dem Synchronismus dadurch die richtige Polarität abfangen, daß man bei schwacher Erregung den Feldkreis unterbricht und erst bei richtiger Polarität wieder schließt.



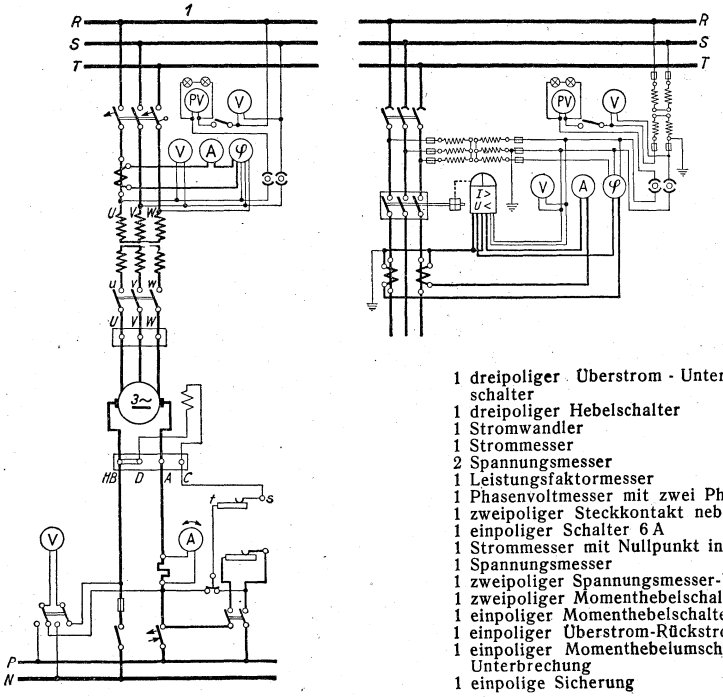
Erforderlich:

1. Für Niederspannung:
   - 1 dreiphas. Drehstrom-Gleichstrom-Einanker-Umformer
   - 1 Transformator
   - 1 Nebenschlußregler
   - 1 Drehstrom-Asynchron-Motor
   - 1 Drehstrom-Anlasser
   - 1 dreipoliger Überstrom-Unterspannungsausschalter
   - 2 dreipolige Hebelschalter
   - 3 einpolige Sicherungen
   - 1 Stromwandler
   - 2 Strommesser
   - 2 Spannungsmesser
   - 1 Leistungsfaktormesser
   - 1 Phasenvoltmeter mit zwei Phasenlampen
   - 1 zweipoliger Steckkontakt nebst Stecker
   - 1 einpoliger Schalter 6 A
   - 1 Strommesser für Gleichstrom
   - 1 Spannungsmesser
   - 1 zweipoliger Spannungsmesser-Umschalter
   - 1 einpoliger Moment-Hebelschalter
   - 1 einpoliger Überstrom-Rückstrom-Ausschalter
   - 1 einpolige Sicherung
2. Für Hochspannung:
   Statt eines dreipoligen Hebelschalters, des Überstromausschalters und 3 Sicherungen:
   - 2 dreipolige Trennschalter
   - 1 dreipoliger Ölschalter mit Primärüberstrom-Auslösern
   - 1 dreipoliger Ölschalter mit Unterspannungs-Auslöser
   - 2 Überstrom-Relais mit Ruhekontakten
   - 2 Stromwandler
   - 2 Spannungswandler mit Sicherungen

Bild 12. Schaltplan für eine Einanker-Umformer-Anlage.
Anlassen durch einen Asynchron-Anwurfmotor. Gleichstrom-Zweileiter-Anlage.
Spannungsregelung siehe Bild 11.

Nun erst wird der Umformer, nachdem der Nebenschlußregler in Betriebsstellung gebracht ist, durch den dreipoligen Anlaßumschalter von der Anlaufstellung auf die Betriebsstellung umgeschaltet. Damit der Umformer dabei in Tritt bleibt und richtige Polarität behält, muß das Umschalten schnell erfolgen. Es sind daher bei größeren Leistungen Schnellumschalter zu verwenden.

Anlassen durch Anwurfmotor. Im Gegensatz zum asynchronen Anlassen ist bei dieser Anlaßart ein Synchronisieren beim Einschalten erforderlich (Bild 12). Der Umformer wird durch einen mit ihm gekuppelten Drehstrom-Asynchronmotor, welcher eine um 2 geringere Polzahl besitzt, auf seine synchrone Drehzahl gebracht. Die Leistung des Motors muß kurzzeitig etwa 8—10% der Umformerleistung betragen, der Anlasser ist für entsprechende Verminderung der Drehzahl vorzusehen. Dann erfolgt das Synchronisieren, und zwar sind die gleichen Gesichtspunkte wie beim Parallelschalten von Drehstromgeneratoren zu beobachten. Nachdem der Umformer an das Netz gelegt ist, muß der Anwurfmotor abgeschaltet werden. Dem Vorteil eines wesentlich geringeren Anlaufstromes als beim asynchronen Anlauf stehen ein höherer An-



Erforderlich:

1. Für Niederspannung:
   - 1 dreiphas. Drehstrom-Gleichstrom-Einanker-Umformer
   - 1 Transformator
   - 1 Nebenschluß-Regler
   - 1 Anlasser
   - 1 dreipoliger Überstrom-Unterspannungsausschalter
   - 1 dreipoliger Hebelschalter
   - 1 Stromwandler
   - 1 Strommesser
   - 2 Spannungsmesser
   - 1 Leistungsfaktormesser
   - 1 Phasenvoltmesser mit zwei Phasenlampen
   - 1 zweipoliger Steckkontakt nebst Stecker
   - 1 einpoliger Schalter 6 A
   - 1 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
   - 1 Spannungsmesser
   - 1 zweipoliger Spannungsmesser-Umschalter
   - 1 zweipoliger Momenthebelschalter
   - 1 einpoliger Momenthebelschalter
   - 1 einpoliger Überstrom-Rückstrom-Ausschalter
   - 1 einpoliger Momenthebelumschalter ohne Unterbrechung
   - 1 einpolige Sicherung
2. Für Hochspannung:
   Statt des Überstrom-Ausschalters
   - 1 dreipoliger Trennschalter
   - 1 dreipoliger Ölschalter mit Unterspannungs-Auslöser
   - 2 Überstrom-Relais mit Ruhekontakten
   - 2 Spannungswandler mit Sicherungen
   - 2 Stromwandler

Bild 13. Schaltplan für eine Einanker-Umformer-Anlage.
Anlassen von der Gleichstromseite aus. Gleichstrom-Zweileiter-Anlage
Spannungsregelung siehe Bild 11.

schaffungspreis, eine umständlichere Bedienung und das dauernd leere Mitlaufen des Anwurfmotors nachteilig gegenüber.

Anlassen durch gleichpoligen Anwurfmotor. Der Umformer wird durch einen mit ihm gekuppelten Drehstrom-Asynchronmotor gleicher Polzahl auf die asynchrone Drehzahl gebracht. Dann legt man ihn mit so viel vorgeschaltetem Widerstand im Feldkreis, daß keine Selbsterregung eintritt, über eine dreiphasige Überschalt-Drosselspule an die volle Betriebsspannung. Nachdem der Umformer bei langsamer Verstärkung der Erregung von selbst in den Synchronismus gelaufen ist, wird ebenso wie beim asynchronen Anlauf nötigenfalls die richtige Polarität durch Feldpolumschalter hergestellt. Dann wird die Felderregung auf ihren normalen Wert verstärkt und nun erst die Überschaltdrossel kurzgeschlossen und der Anwurfmotor abgeschaltet.

Gleichstromseitiges Anlassen. Diese Anlaßart (Bild 13) ist nur in den Fällen möglich, in denen eine Gleichstromquelle in ausreichender Größe vorhanden ist, da der Anlaufstrom immerhin in den ersten Sekunden 20—25% des Nennstromes beträgt. Er kann auf etwa die Hälfte beschränkt werden, wenn der zwischen Umformer und Umspanner eingebaute Schalter im ersten Augenblick des Anlaufes (bei Frequenz 0) offen bleibt. Das Anlassen erfolgt wie bei einem gewöhnlichen Gleichstrom-Nebenschlußmotor, und zwar mittels eines Anlassers für etwa 20% des Nennstromes. Der Widerstand des Nebenschlußreglers muß hierbei nahezu ausgeschaltet sein, der Umformer also volle Erregung haben. Hat der Umformer die Nenndrehzahl erreicht, so ist er genau wie ein Drehstromgenerator mit dem Drehstromnetz zu synchronisieren. Dann ist der Anlasser durch einen Rückstromausschalter kurzzuschließen und auszuschalten.

Schutzvorrichtungen. Auf der Drehstromseite sollte grundsätzlich eine Unterspannungsauslösung vorgesehen werden, um den Umformer beim Ausbleiben der Drehstromspannung sofort abzuschalten. Andernfalls ist die nicht mehr mit synchroner Drehzahl laufende Maschine bei etwaiger Wiederkehr der Spannung stark gefährdet. Bei Parallelarbeiten auf der Gleichstromseite ist Rückstromauslösung und ein Fliehkraftschalter zum Schutz der Maschine gegen Durchgehen erforderlich. Gewöhnlich werden Überstrom-Rückstromausschalter verwendet, die gleichzeitig die Sicherungen ersetzen. Bei Spannungsteilung ist in jedem Pol ein derartiger Selbstschalter erforderlich; beide müssen elektrisch gekuppelt sein, so daß beim Ansprechen eines Schalters beide auslösen. Dadurch ist dann auch ein gleichzeitiges Einschalten bedingt. Da bei gleichstromseitigem Anlassen ein Selbstschalter geöffnet bleiben muß, ist in diesem Falle die Kupplung bei geöffnetem Nulleiterschalter durch einen an diesem angebrachten Hilfskontakt zu unterbrechen.

Bleibt ein Umformer nach Abschaltung vom Drehstromnetz bei schwacher Erregung gleichstromseitig eingeschaltet, so besteht die Gefahr, daß er als Gleichstrommotor durchgeht. Als Schutz hiergegen kann ein Fliehkraftschalter verwendet werden, der bei unzulässiger Drehzahlsteigerung die Gleichstromselbstschalter auslöst.

Die Felderregung ist im Betriebe grundsätzlich an den Umformer unmittelbar anzuschließen, so daß sie beim Auslösen der Selbstschalter nicht unterbrochen wird. Für das gleichstromseitige Anlassen muß daher die Erregung durch einen einpoligen Umschalter ohne Unterbrechung zunächst auf die Gleichstrom-Sammelschienen geschaltet werden und ist erst nach dem Schließen des Selbstschalters auf den Umformer umzulegen.

Parallelbetrieb.

Die Einankerumformer arbeiten anstandslos mit anderen Umformern, Nebenschlußgeneratoren und Batterien parallel. Bei starken Belastungsänderungen genügt es für einen einwandfreien Betrieb, durch gelegentliches Nachregeln der Nebenschlußregler die Lastverteilung abzustimmen. Schwierigkeiten können nur dann entstehen, wenn

plötzliche Spannungsänderungen im Drehstromnetz auftreten oder wenn die Eigenschwingungen des Umformers in Resonanz mit den Schwingungen der Netzmaschinen geraten. Der erstere Fall macht ein gutes Parallelarbeiten unmöglich. Die zweite Schwierigkeit kann durch entsprechende Bauart des Umformers vermieden werden, weshalb genaue Angaben erforderlich sind über die Art der Antriebsmaschinen des Drehstromkraftwerkes, an den der Umformer angeschlossen wird.

Eine Batterieladung ist mit dem Umformer an und für sich dadurch leicht möglich, daß der Regelbereich des Drehumspanners entsprechend ausgedehnt wird. Der große Regelbereich würde aber dauernd erhöhte Verluste in Umformer und Drehumspanner mit sich bringen. Die Aufstellung eines besonderen Ladesatzes ist daher zweckmäßiger, besonders dann, wenn die Ladeleistung sehr viel kleiner als die Umformerleistung ist.

SCHALTANLAGEN

Einleitung.

Schaltanlagen sind so alt wie die Erzeugung des elektrischen Stromes. Die ersten „Schaltanlagen" waren sehr bescheiden; an einer gerade freien Wand des Maschinenraumes wurden die allernotwendigsten Geräte zum Messen, Regeln und Verteilen des elektrischen Stromes untergebracht. Der nächste Schritt in der Entwicklung der Schaltanlagen wurde getan, als man die Schaltgeräte auf Holztafeln zusammenfaßte. Von da ab konnte man eigentlich erst von einer Einheit, der Schalttafel, sprechen

Die als feuergefährlich erkannten Holztafeln wurden in der Folge durch Platten aus Schiefer oder Marmor ersetzt, die (als Fortschritt) auf der Vorderseite die Schalt- und Meßgeräte, auf der Rückseite die Verbindungsleitungen für die einzelnen Schalt- und Meßgeräte aufnahmen. — Mit der Leistungssteigerung der elektrischen Anlagen wuchsen die Anforderungen, die an die Überwachungseinrichtungen der Stromerzeugung und -verteilung gestellt wurden. Mit dem Leistungsanstieg und den Entfernungen, die für die Kraftübertragungen in Frage kamen, mußte auch die Spannung gesteigert werden, die zur Fortleitung der elektrischen Energie notwendig war.

Es war das Verdienst eines AEG-Pioniers, Dolivo von Dobrowolsky, durch unermüdliches Verfechten des Drehstromsystems bahnbrechend gewirkt zu haben. Mit der Kraftübertragung Lauffen a. N.—Frankfurt a. M. anläßlich der Ausstellung in Frankfurt a. M. im Jahre 1891 bewies er die Wirtschaftlichkeit des Drehstromsystems für Kraftübertragungen auf größere Entfernungen. Von diesem Zeitpunkt an hat der Bau von Zentralen und damit von Schaltanlagen einen starken Auftrieb erhalten.

Der heutige Schaltanlagenbau befaßt sich zum größten Teil mit der Einrichtung von Drehstromanlagen. In diesem Abschnitt soll deshalb vorzugsweise von diesen Anlagen gesprochen werden.

Zuerst sollen die Bausteine einer Schaltanlage, das sind die Schalt- und Meßgeräte, Verbindungsleitungen, Schaltpläne usw. behandelt werden.

Schaltgeräte und Aufbauteile.

Hebelschalter.

Hebelschalter werden bis 500 V ein-, zwei und dreipolig ausgeführt, und zwar mit vorder- oder rückseitigem Anschluß. Alle ein- und zweipoligen Hebelschalter sind mit Momentschaltung versehen, die bei dreipoligen Schaltern fortfällt. Dies entspricht dem Verwendungszweck der ein- und zweipoligen Schalter für Gleichstrom, bei dem Momentausschaltung zur raschen Löschung des Unterbrechungslichtbogens vorteilhaft ist, während bei Drehstrom eine langsamere Stromunterbrechung günstiger wirkt; sie erfolgt an besonderen, leicht auswechselbaren Kontaktstücken. Ausführungsbeispiele zeigen die Bilder 1 und 2.

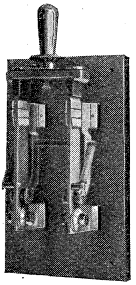


Bild 1. Hebelschalter, zweipolig, mit Momentschaltung.

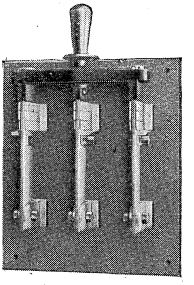


Bild 2. Hebelschalter, dreipolig, ohne Momentschaltung.

Die Abschaltleistung der Hebelschalter und Umschalter ist begrenzt; die zulässigen Abschaltströme sind der nachstehenden Tafel 1 zu entnehmen:

Tafel 1. Abschaltleistung bei induktionsfreier Belastung.

(Glühlampen, Heizwiderstände usw.)

Zulässiger Abschaltstrom J_a bezogen auf den Schalternennstrom J_n bei

Schalter	Gleichstrom			Wechsel- oder Drehstrom					
	einpolig	zweipolig		einpolig		zweipolig		dreipolig	
	250 V	250 V	500 V	380 V	500 V	380 V	500 V	380 V	500 V
HEBELSCHALTER									
HK 25	J_n	J_n	0,4 J_n	J_n	0,4 J_n	J_n	0,4 J_n	J_n	0,4 J_n
HK 60/100	J_n	J_n	0,3 J_n	J_n	0,3 J_n	J_n	0,3 J_n	J_n	0,5 J_n
MHS 200	—	J_n	0,3 J_n	—	—	J_n	0,3 J_n	J_n	0,4 J_n
MHS 350	—	0,8 J_n	0,2 J_n	—	—	J_n	0,2 J_n	J_n	0,3 J_n
MHS 500	—	—	—	—	—	J_n	0,2 J_n	J_n	0,3 J_n
BS 60 bis 350	0,3 J_n	J_n	—	0,3 J_n	—	J_n	—	—	—
BS 600	0,35 J_n	J_n	—	0,35 J_n	—	J_n	—	—	—
S 25 bis 200	0,5 J_n	J_n	0,3 J_n	J_n	J_n	J_n	0,8 J_n	J_n	0,5 J_n
S 400	0,3 J_n	0,8 J_n	0,2 J_n	J_n	J_n	J_n	0,7 J_n	J_n	0,4 J_n
HR 100 bis 350	—	J_n	J_n	—	—	J_n	0,8 J_n	J_n	J_n
HRK 100 bis 350	—	J_n	J_n	—	—	J_n	0,8 J_n	J_n	J_n
SR 600	J_n	J_n	J_n	J_n	0,8 J_n	J_n	0,8 J_n	J_n	J_n
SR 1000	0,6 J_n	J_n	0,6 J_n	J_n	0,5 J_n	J_n	0,5 J_n	J_n	0,6 J_n
HEBELUMSCHALTER									
BUS 60 oben	0,3 J_n	0,65 J_n	—	0,4 J_n	—	0,65 J_n	—	—	—
BUS 60 unten	0,2 J_n	0,35 J_n	—	0,2 J_n	—	0,35 J_n	—	—	—
BUS 100 oben	0,25 J_n	0,7 J_n	—	0,3 J_n	—	0,7 J_n	—	—	—
BUS 100 unten	0,15 J_n	0,4 J_n	—	0,15 J_n	—	0,4 J_n	—	—	—
BUS 200 oben	0,15 J_n	0,7 J_n	—	0,2 J_n	—	0,7 J_n	—	—	—
BUS 200 unten	0,1 J_n	0,3 J_n	—	0,1 J_n	—	0,3 J_n	—	—	—
BUS 350 oben	0,15 J_n	0,65 J_n	—	0,2 J_n	—	0,65 J_n	—	—	—
BUS 350 unten	0,1 J_n	0,3 J_n	—	0,1 J_n	—	0,3 J_n	—	—	—
BUS 600 oben	0,2 J_n	0,6 J_n	—	0,2 J_n	—	0,6 J_n	—	—	—
BUS 600 unten	0,15 J_n	0,3 J_n	—	0,15 J_n	—	0,3 J_n	—	—	—
HKU, MHUS, SU, HRUK, SRU	Diese **Hebelumschalter** verhalten sich in bezug auf Schaltleistung bei Betätigung **aus der oberen Schaltstellung** ähnlich wie die Hebelschalter gleicher Bauart. **Bei Betätigung aus der unteren Schaltstellung** ist jedoch ihre **Schaltleistung erheblich geringer,** und sie werden aus dieser Schaltstellung **zweckmäßig nur stromlos geschaltet**								
HRU	Die Schaltleistung in beiden Schaltstellungen ist wie bei den Hebelschaltern HR								

Beim **Abschalten hochinduktiver Stromkreise** treten Überspannungen auf, die zu großer Lichtbogenbildung führen. In diesen Fällen dürfen Hebelschalter nur mit kleinen Stromstärken geschaltet werden, die die entsprechenden **halben Tafelwerte** möglichst nicht übersteigen. Über die Verwendung der Hebelschalter als Motorenschalter s. unter „Motoren"

Das für Hebel- und Hebelumschalter gegebene Anwendungsgebiet ist die Ausrüstung von abgehenden Stromkreisen in Verteilungsanlagen, bei denen sie in Verbindung mit Sicherungen unmittelbar hinter den Sammelschienen angeordnet werden. Sie dienen hier der Abtrennung der Leitungen. Für den genannten Zweck verwendet man die Hebelschalter und Umschalter meistens mit indirektem Antrieb zum Einbau auf der Rückseite der Schalttafel. Gebräuchlich sind zwei Ausführungsformen:

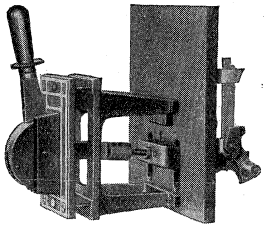


Bild 4. Hebelschalter auf Gußkonsole, mit Gestängeantrieb.

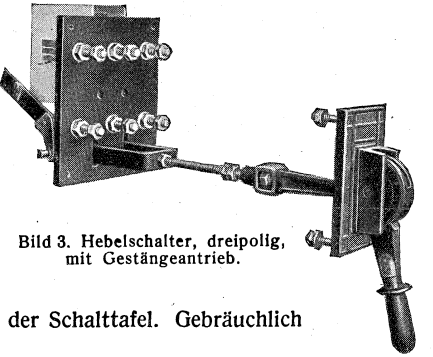


Bild 3. Hebelschalter, dreipolig, mit Gestängeantrieb.

Schalter mit Gestängeantrieb zum Einbau im Schalttafelgerüst mit veränderlichem Abstand zwischen Schaltergrundplatte und der Schalttafelrückseite (Bild 3) und Schalter auf Gußkonsole mit Gestängeantrieb für Anbau an der Schalttafelrückwand mit kurzem, unveränderlichem Gestänge (Bild 4).

Der Griff dieser Schalter ist als einfacher Handgriff, Doppel- oder Steigbügelgriff ausgebildet (Bild 5).

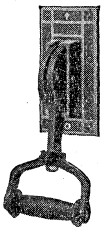


Bild 5. Steigbügelgriff für Gestängeantrieb.

Sicherungen bis 500 Volt.

Sicherungen übernehmen in Stromkreisen, die mit Hebelschaltern ausgerüstet sind, den Schutz der Leitungen gegen Überlastungen und Kurzschlüsse bis zu den Unterverteilungen und den zu den Stromverbrauchern führenden Leitungen. Die Sicherungen bestehen aus dem Sicherungsunterteil (Sockel) mit den Kontaktstücken und den Schmelzstreifen oder Schmelzpatronen.

Die Wahl der Sicherungseinsätze richtet sich nach den in den Vorschriften des VDE 0100 festgelegten, für die Leiterquerschnitte zulässigen Stromstärken. Die Belastbarkeit der Schmelzeinsätze ist durch die Regeln des VDE 0660 bestimmt. Schmelzstreifen sollen eine Stunde hindurch den 1,6-fachen Nennstrom ohne abzuschmelzen aushalten und beim 1,8fachen Nennstrom innerhalb einer Stunde zum Durchschmelzen kommen. Für Patronen sind diese Werte je nach der Nennstromstärke verschieden.

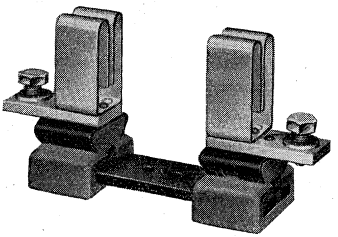


Bild 7. Einpolige Sicherung auf Eisenschiene (Mittenabstand der Kontaktböcke in der Längsrichtung um 10 mm verstellbar).

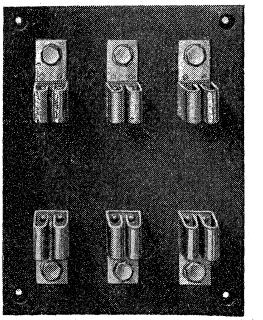


Bild 6. Sicherung dreipolig, für Steckpatronen.

Schmelzstreifen bedingen Schraubkontakte und sollen nur im spannungslosen Zustand ausge-

wechselt werden. Sie müssen deshalb von der Stromquelle gesehen, hinter den Hebelschaltern angeordnet werden.

Die geschlossenen **Sicherungspatronen** haben eine wesentlich höhere Kurzschlußabschaltleistung als die offenen Schmelzstreifen. Sie können in Netzen mit einem Kurzschlußstrom bis zu 15000 A verwendet werden, gegen etwa 5000 A bei offenen Schmelzstreifen (vgl. Abschnitt „Kurzschlußsicherheit in Industrieanlagen"). Patronensicherungen haben außerdem den Vorteil, daß beim Abschmelzen ein offener Lichtbogen vermieden wird, der unmittelbar oder durch die dabei entstehenden Metalldämpfe neue Kurzschlüsse einleiten kann. Patronensicherungen werden als Einsteckpatronen mit Messerkontakten oder mit Kontaktfahnen für Schraubkontakte ausgeführt.

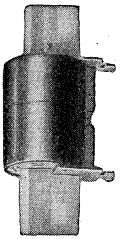


Bild 8. Patrone mit Isolierstoffkörper.

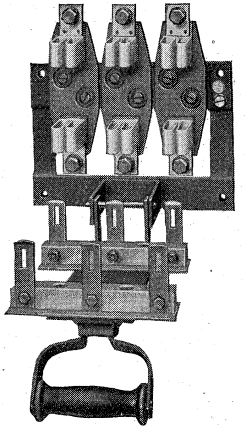


Bild 9. Dreipolig abschaltbare Sicherung.

Außer den normalen Sicherungspatronen werden bis 600 A noch Hochleistungspatronen (Bild 8) für unverzögerte oder kurzverzögerte Abschaltung mit Messerkontakten verwendet, die mit einem abnehmbaren Handgriff ausgewechselt werden können. Die Kurzschluß-Abschaltleistung dieser Patronen ist in einer Tafel im Abschnitt „Kurzschluß-Sicherheit in Industrie-Anlagen" zusammengestellt.

Die Unterteile der Sicherungen können dreipolig auf Grundplatte (Bild 6), einzeln auf Steatitkörpern, die durch eine Eisenschiene ein zusammenhängendes Bauteil (Bild 7) bilden, auf Steatitisolatoren oder auf gemeinsamen Steatitsockeln aufgebaut geliefert werden.

Die letztgenannte Ausführungsart ist auch zu einer dreipolig abschaltbaren Sicherung (Bild 9) entwickelt worden, bei welcher die Fahnen der im beweglichen Teil angebrachten Sicherungspatronen die Schaltmesser bilden. Die Sicherung übernimmt damit gleichzeitig die Stelle eines dreipoligen Trennschalters. Die Patronen können im spannungslosen Zustand ohne besonderen Handgriff ausgewechselt werden.

Als dritte Art von Sicherungen sind die abschaltbaren Sicherungen mit Porzellanrohr zu erwähnen. Der Schmelzdraht ist durch ein Porzellanrohr geführt. Die Enden des Schmelzeinsatzes sind an den aufgesetzten Metallkappen angeschlossen, die gleichzeitig Messerkontakte tragen. Die Porzellanrohre sind mit einem Asbestrohr ausgekleidet, welches das Platzen der Röhren verhindert. Eine Benutzung der Porzellanrohre ohne Asbestrohr ist unstatthaft.

Um durchgeschmolzene Sicherungen auf den ersten Blick kenntlich zu machen, sind die Rohre der Sicherungen mit einem Kenndraht ausgerüstet. Dieser hält eine Feder fest, die beim Durchbrennen des Drahtes hochschnellt.

Da die Porzellanrohre oben und unten offen sind, so entstehen beim Abschmelzen des Streifens oberhalb und unterhalb Feuererscheinungen. Metallteile sind daher bei der Montage in entsprechender Entfernung anzuordnen oder durch isolierende Zwischenwände zu schützen.

Der Einbau der Sicherungen muß in senkrechter Anordnung erfolgen. Die Röhrensicherung ist nur in unbelastetem Zustand zu bedienen.

Röhrensicherungen dürfen in geschlossene oder gekapselte Schaltgeräte nicht eingebaut werden.

Kabelverteilungsschränke siehe Abschnitt „Verteilungen für Industrie, Gewerbe, Stadtnetze und Lichtanlagen".

Gekapselte Sicherungen siehe Abschnitt „Schaltgeräte".

Überstrom-Selbstschalter.

Die Überstromselbstschalter für Wechselstrom und Drehstrom, für Spannungen bis 750 V werden im Abschnitt „Schaltgeräte" ausführlich behandelt. An dieser Stelle sollen nur einige für den Schaltanlagenbau wesentliche Einzelheiten dieser Schalter Erwähnung finden.

Zum Unterschied von den Hebelschaltern handelt es sich hierbei um Leistungsschalter, die auch größere bei Kurzschlüssen auftretende Leistungen unterbrechen können.

Einschaltung der Selbstschalter kann entweder von Hand unmittelbar am Schalter oder durch Gestängeübertragung von der Vorderseite einer Schalttafel aus, ferner durch Gleichstrommagnete, Motor- oder Druckluftantriebe (Bild 10 bis 12) von Ferne erfolgen. In der folgenden Tafel sind die wichtigsten Daten über den Leistungsverbrauch für die Fern-, Ein- und Ausschaltung einiger wichtiger Selbstschalter zusammengestellt.

Tafel 2. Tafel für den Leistungsverbrauch der Schaltmagnete und Motoren verklinkter Fernschalter.

Fernschalter Form	Polzahl	Verbrauch des Einschaltmagneten bei Gs	Verbrauch des Einschaltmagneten bei Ws	Verbrauch des Arbeitsstromausl. bei Gs	Verbrauch des Arbeitsstromausl. bei Ws	Verbrauch des Unterspannungsausl. bei Gs	Verbrauch des Unterspannungsausl. bei Ws	Verbrauch des Einschaltmotors bei Ds
MSBF 100	II III	0,8 kW [1] 1 kW [2]	— 4 kVA		400 VA			—
MSBF 200	II III	0,8 kW [1] 1 kW [2]	— 6 kVA					
EMF 350	I II III	1,4 kW 2,1 kW 2,9 kW	— — 12 kVA		300 VA			3 KVA
EMF 600	I II III	1,4 kW 2,1 kW 3 kW		90 W		8 W [3]	25 VA	
EMF 1000	I II III	1,8 kW 3,2 kW 5 kW			400 VA			
EMF 2000	I II III	2,8 kW 4,2 kW 6 kW	—					
EMF 3000	I II III	8,4 kW [4] 8,1 kW [4] 12,8 kW [4]		40 W	100 VA	15 W [3]	70 VA	auf Anfrage

[1]) bei einer Betätigungsspannung von 440 V (1 kW bei 550 V)
[2]) „ „ „ bis zu 440 V
[3]) „ „ „ von 240 V, darüber im Verhältnis zur Spannungserhöhung
[4]) „ „ „ von 500 V

Die in obenstehender Tafel angegebenen Werte sind für die Bemessung der Betätigungsschalter, der Steuerleitungen, Steuerleitungs-Sicherungen, Relaiskontakte usw. zu beachten.

Als **Überlastungsschutz** sind bei den Schaltern bis 2000 A einstellbare Wärmeauslöser (Bimetallauslöser) vorgesehen, die ab 1000 A transformatorisch beheizt werden. Der Auslösegrenzstrom der Wärmeauslöser liegt zwischen dem 1,05- und 1,2fachen des eingestellten Nennstromes.

Für alle Schalter kommt außerdem allpolig ein Kurzschlußschutz durch Schnellauslöser hinzu.

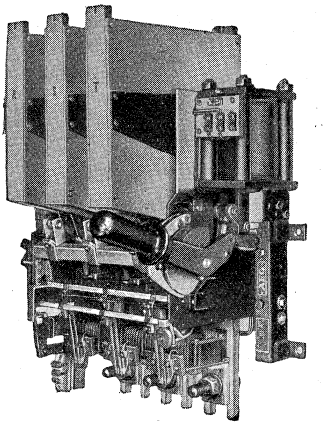


Bild 10. Dreipoliger Überstromselbstschalter mit Einschaltmagnet.

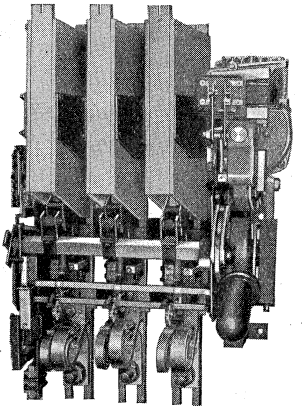


Bild 11. Dreipoliger Überstromselbstschalter mit Einschaltmotor.

Schalter für höhere Nennströme werden allpolig mit magnetischen Überstromauslösern als Überlastungs- und Kurzschlußschutz ausgerüstet, die etwa auf den doppelten Wert des Nennstromes eingestellt werden können. Außerdem können alle Schalter mit Unterspannungs- bzw. Arbeitsstromauslösern versehen werden.

Alle Schalter haben den VDE-Vorschriften entsprechend Freiauslösung und können mit Fehlerspannungs-(RWE-H.-R.-)Auslöser versehen werden.

Die **Schaltleistung** der Schalter bis 200 A entspricht der Gruppe III nach VDE 0660, 71, das ist etwa 6000 A bei 550 V oder 7500 A bei 380 V.

Die Schalter für höhere Stromstärke haben eine Schaltleistung der Gruppe IV nach VDE 0660, 71.

Zur **Schaltung von Kondensatoren** können Überstromschalter mit Rücksicht auf den hohen Einschaltstromstoß und auf die vom Kondensator unter Umständen aufgenommenen Oberwellenströme nicht mit voller Nennstromstärke belastet werden. Bei den für diesen Verwendungszweck geeigneten Schaltern wird auf nachstehende Tafel, aus der die Belastungsgrenzen zu entnehmen sind, verwiesen.

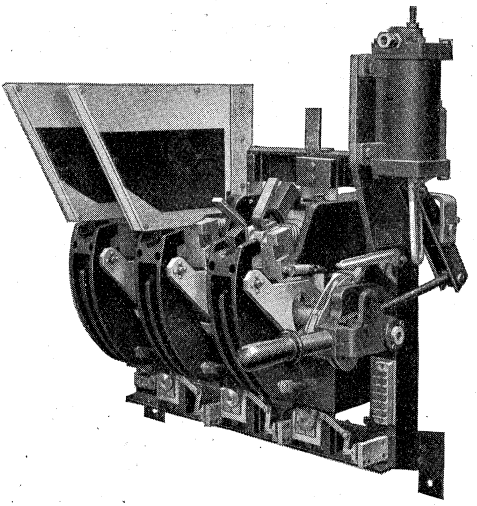


Bild 12. Dreipoliger Überstromselbstschalter mit Druckluftantrieb (rechte Funkenkammer abgenommen).

Tafel 3.

Verwendbarkeit der Überstromausschalter für Kondensatoren.

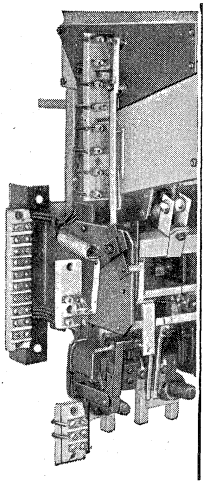
Zulässiger Kondensator-Nennstrom A	Hierzu Überstromausschalter	Mit Wärmeauslöser A	Einstellbereich der Kurzschluß-Schnellauslösung A
8 bis 12	MSBF 100	10 bis 16	65 bis 100
13 bis 20		16 bis 25	100 bis 180
21 bis 30		25 bis 40	160 bis 300
31 bis 50		40 bis 64	250 bis 500
51 bis 80		64 bis 100	400 bis 800
51 bis 80	MSBF 200	64 bis 100	400 bis 800
81 bis 115		100 bis 140	600 bis 1200
116 bis 170	EMF 350	140 bis 200	900 bis 1800
171 bis 210		200 bis 250	900 bis 1800
211 bis 270		250 bis 320	1200 bis 2400
271 bis 290		320 bis 350	1200 bis 2400
271 bis 330	EMF 600	320 bis 400	1200 bis 2400
331 bis 420		400 bis 500	1200 bis 2400
421 bis 510		500 bis 600	1500 bis 3000
500 bis 1000	EMF 1000	600 bis 1200	2000 bis 4000

Einstellung der Überstromauslösungen:

Wärmeauslöser 1,2 × Kondensator-Nennstrom

Kurzschluß-Schnellauslösung

bis 210 A achtfacher Kondensator-Nennstrom
bis 420 A sechsfacher Kondensator-Nennstrom
über 420 A vierfacher Kondensator-Nennstrom



Hilfskontakte (Bild 13) für Signalzwecke werden, wie nebenstehendes Bild zeigt, seitlich an den Überstromschaltern angeordnet. Sie können je nach Wahl in der Ein- oder Ausschaltstellung des Schalters Kontakt geben.

Bild 13. Beispiel für die Anordnung von Hilfskontakten an einem Überstromausschalter Form EM.

Überspannungsableiter für Niederspannung.

Für die Ableitung von Überspannungen, die durch atmosphärische Entladungen, durch Schaltvorgänge oder andere Ursachen in ein Niederspannungsnetz eindringen, werden für Wechselstrom und Drehstrom bis 550 V sowie für Gleichstrom bis 250 V Ionenableiter eingebaut.



Bild 14.
Ionenableiter
für Innenräume.

Der Ionenableiter besteht im wesentlichen aus einer Edelgasfunkenstrecke, die in eine Entladungsröhre eingeschlossen ist. Zündverzug und Ansprechspannung sind unveränderlich, so daß ein stets sicheres Ansprechen des Ableiters unabhängig von Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Temperatur gewährleistet ist. Durch die Form der Elektroden ist jede Induktivität der Funkenstrecke vermieden. Der in Reihe mit der Funkenstrecke liegende Widerstand ist spannungsabhängig, d. h. die Stromaufnahme erfolgt nicht, wie beim Ohmschen Widerstand geradlinig, sondern mit einer höheren Potenz der Spannung. Die so beim Auftreten der Überspannung erzielbaren hohen Ableitstromstärken bewirken eine rasche Absenkung der Überspannung. Beim Verschwinden der Überspannung nimmt der Ableitstrom sehr schnell wieder einen sehr kleinen Wert an, so daß eine sichere Unterbrechung möglich ist. Diese Löschung unter Betriebsspannung erfolgt in weniger als 0,01 s.

Der verstärkte, spannungsabhängige Widerstand gibt dem Ableiter eine hohe Betriebsicherheit und gestattet eine Verwendung auch in Gleichstromnetzen. Nach der Löschung ist der Ableiter sofort wieder betriebsbereit.

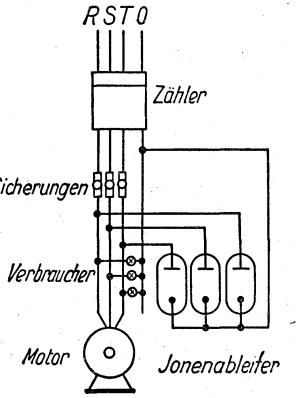


Bild 16. Ionenableiter
in einer Vierleiteranlage

Bei dem Ionenableiter für Innenräume (Bild 14) liegen die Edelgasfunkenstrecke und der Widerstand in einem Porzellangehäuse von 87×60 mm² Grundfläche. Diese Abmessungen sind die gleichen wie die eines normalen Sicherungselementes. Dies erleichtert den Einbau auf Schalttafeln, Zählertafeln, Hausanschlußkästen oder Verteilungskästen. Für den Anschluß von Leitung und Erde sind leicht zugängliche Klemmen vorhanden. Bei der Ausführung für das Freie sind Funkenstrecke und Widerstand von einem regensicheren Porzellangefäß umgeben, dessen starke Wandungen Schutzrohre entbehrlich machen (Bild 15). Über die Anbringung, an einem Freileitungsmast siehe Abschnitt „Verlegung von Freileitungen".

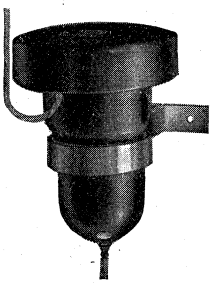


Bild 15. Ionenableiter
fürs Freie.

Zum Schutz von Hausinstallationen wird der Ionenableiter zweckmäßig dicht hinter die Hauptsicherungen nach dem Zähler gelegt, um die gesamte Installation unter die Schutzwirkung zu bringen. Der Ableiter ist nach richtigem Anschluß sofort arbeitsbereit.

Bild 16 gibt ein Beispiel von der Schaltanordnung von Ionenableitern, in diesem Fall in einer Vierleiteranlage.

Betätigungs- und Signalgeräte.

Für die Fernsteuerung der Selbstschalter sowie der Druckgas-, Öl- und Trennschalter werden Druckknopf-, Betätigungs- oder Steuerquittungsschalter benötigt. Die **Druckknopfschalter** (Bild 17) haben eine Schaltleistung von etwa 500 W bei Gleichstrom und 1500 VA bei Wechselstrom, sie werden zur Betätigung von solchen Antriebsgeräten herangezogen, deren Schaltleistung in den angegebenen Grenzen bleibt, z. B. für Druckluftsteuerventile und andere Antriebsgeräte, die über Schütze gesteuert werden. Druckknopfschalter können mit Arbeits- oder Ruhestromkontakten geliefert werden.

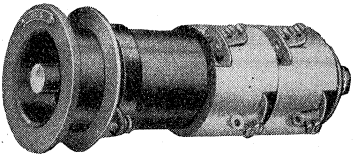


Bild 17. Druckknopfschalter.

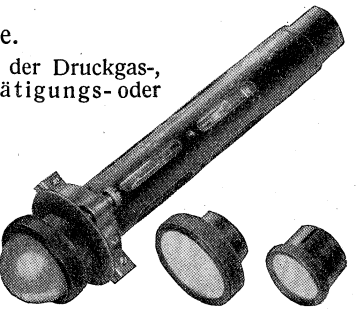


Bild 19. Signallampe.

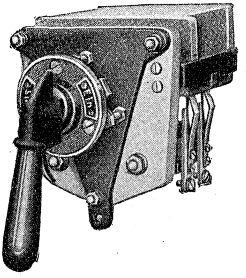


Bild 18. Betätigungsschalter.

Betätigungsschalter (Bild 18) sind vermöge ihrer großen Schaltleistung mit Vierfachunterbrechung bis zu etwa 20 kW bei Gleichstrom bzw. 20 kVA bei Wechselstrom, für die Fernschaltung von Motor-, Magnet- und Kraftspeicherantrieben ohne Zwischenschütz geeignet. Die Betätigungsschalter sind Schwenkschalter, die mit Handgriff oder Handrad versehen werden können. Die Schalter haben zwei Schaltstellungen: „Ein" und „Aus". Der Handgriff bzw. das Handrad wird nach dem Schalten durch Federkraft selbsttätig in eine Mittelstellung zurückgezogen. Die Meldung der durchgeführten Schaltung wird von farbigen **Signallampen** (Bild 19) angezeigt. Die „Ein"-Stellung wird rot, die „Aus"-Stellung grün gekennzeichnet. Der Stellungswechsel eines Selbstschalters kann aber auch durch eine Lampe in Verbindung mit einem **Signallampenumschalter** nach der Sparschaltung gemeldet werden. Nach dem Aufleuchten der Lampe wird der Umschalter betätigt, die Lampe erlischt und der Meldestromkreis ist für den nächsten Schaltvorgang bereit (Bild 19a).

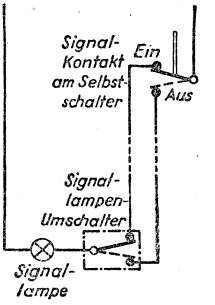


Bild 19a. Sparschaltung für die Signallampe.

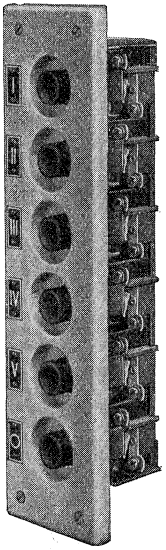


Bild 21. Einbau-Druckknopf-Tafel.

Außer den Druckknopfschaltern (Bild 17) sind für Steuertafeln usw. Einbaudruckknopfschalter in Verwendung, die sich durch schmale Bauform auszeichnen. Sie sind vor allem dort am Platze, wo mehrere Druckknöpfe zu einer Druckknopftafel zu vereinigen sind. Bild 20 zeigt ein Druckknopf-Einbauelement, bestehend aus einem zweckmäßig geformten Preßstück, in welchem die festen Kontakte, und zwar ein Ruhe- und ein Arbeitskontakt mit doppelter Unterbrechung befestigt sind. (Schaltschema siehe Bild 20.)

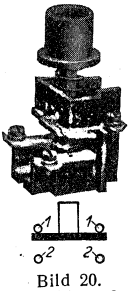


Bild 20. Druckknopf-Einbauelement mit Schaltschema.

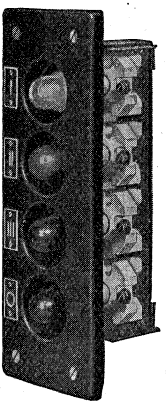


Bild 22. Einbautafel mit Signallampen.

Bild 21 zeigt eine Einbaudruckknopf-Tafel mit 6 eingebauten Druckknöpfen für eine Steuerung. Gegen unbeabsichtigte Betätigung sind die Druckknöpfe vertieft in der Frontplatte angeordnet.

Die Einbaudruckknöpfe können auch durch Signallampen mit Kalotten in Klarglas, braun, rot oder grün (Bild 22) oder durch Einbaudrehschalter ersetzt werden. Die Zusammenstellung der Einbaudruckknöpfe und Signallampen bzw. Drehschalter kann beliebig erfolgen.

Zur Steuerung von Leistungs- und Trennschaltern sowie zur Anzeige und Überwachung ihrer Stellung in Blindschaltbildern werden auch **Steuerquittungsschalter** verwendet (Bild 23), wobei durch das Aufleuchten des Schaltersinnbildes darauf hingewiesen wird, daß die Stellung des Steuerquittungsschalters nicht mit der Stellung des zugeordneten Schalters übereinstimmt.

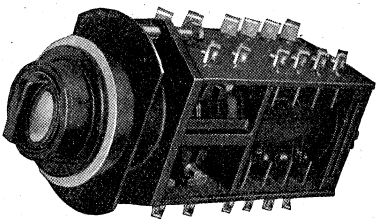


Bild 23. Steuerquittungsschalter (Deckplatte abgenommen).

Ein Zugschalter zum Steuern, ein Drehschalter zum Quittieren und eine Meldelampe sind zu einem Gerät derart vereinigt, daß nur der zugleich als Schaltersinnbild ausgeführte Knebel des Drehschalters, umgeben von dem Ringgriff des Zugschalters, vor der Schalttafel sichtbar ist.

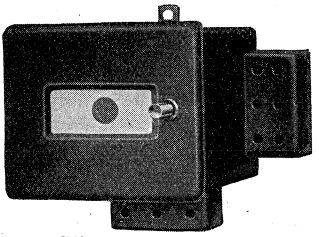


Bild 24. Melderelais.

Für Störungsmeldungen kommen außerdem noch **Melderelais** zur Verwendung (Bild 24). Diese melden die Störung durch ein Sichtzeichen; gleichzeitig wird durch das Relais eine Hupe oder eine Glocke eingeschaltet. Diese ertönt so lange, bis durch die Betätigung eines Druckknopfes am Relais der zugehörige Stromkreis unterbrochen wird. Mit derselben Schaltbewegung wird die Meldeklappe des Relais in die Warnstellung gehoben. In dieser Stellung verbleibt die Klappe, von dem Relaisanker angezogen, bis die Spule bei Beendigung der Störung stromlos wird. Die Klappe fällt hierauf in die Mittelstellung (Ruhestellung) zurück. Für den reihenartigen Zusammenbau von Melderelais, Fallklappen und Anzeigerelais sind **Einbaurahmen** (Bild 24a) vorgesehen, wodurch eine gute Übersicht über den Zustand der Anlage sowie über die Bedeutung der Meldung erzielt werden kann.

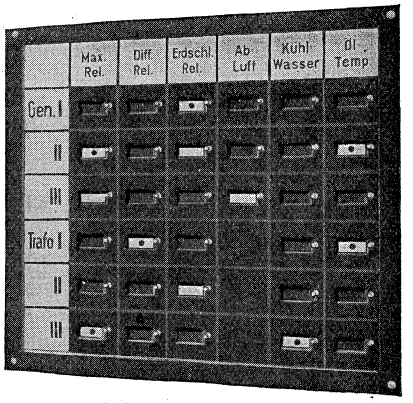


Bild 24a. Einbaurahmen für Melde-, Fallklappen und Anzeigerelais.

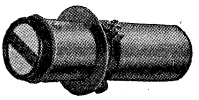


Bild 25. Rückmelder.

Der **Rückmelder** (Bild 25) wird in Blindschaltbildern wahlweise an Stelle von Signal-

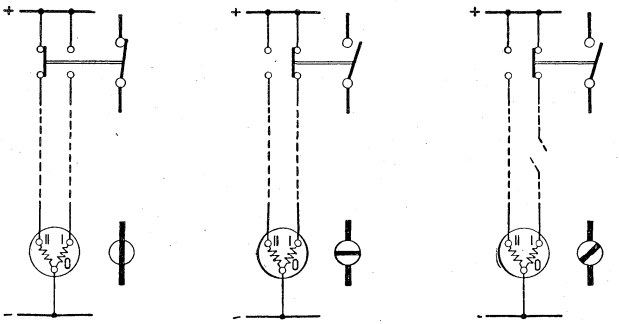


Bild 25a. Schaltung und Wirkungsweise des Rückmelders.

lampen zur Anzeige der Schalterstellungen eingebaut, wobei eine drehbare Scheibe durch drei verschiedene Stellungen den Zustand „Ein", „Aus" oder „Störung" anzeigt. In einem Gehäuse sind zwei Dreheisensysteme eingebaut, deren Anker auf einer gemeinsamen Achse befestigt sind. Die gleiche Achse trägt vorn eine weiße Scheibe mit schwarzem Kennzeichen. Die Scheibe kann durch die Magnete aus ihrer Ruhelage rechtsdrehend oder linksdrehend in zwei zueinander um 90° versetzte Stellungen gebracht werden. Die Rückstellung erfolgt durch eine Feder.

Der Rückmelder wird in der Regel so eingebaut, daß das Kennzeichen bei Erregung des einen Magneten senkrecht steht. Wird dieser Magnet aus- und der andere Magnet eingeschaltet, so dreht sich das Kennzeichen in die waagerechte Stellung. Bei Anschluß des Rückmelders nach Bild 25a wird durch die Stellung des Kennzeichens zu der Leiste des Blindschaltbildes die Stellung des zugeordneten Schalters angezeigt. Bleibt infolge eines Drahtbruches oder eines Fehlers am Schalter die Spannung am Rückmelder aus, so bewegt sich das Kennzeichen in die Ruhelage (schräge Stellung) und zeigt auf diese Weise die Störung an. Die Wirkungsweise des Rückmelders ist unabhängig von seiner Lage.

Schalttafelmeßgeräte.

Meßgeräte.

Über den inneren Aufbau der Meßgeräte wird im Abschnitt „Meßgeräte und Messungen" ausführlich berichtet. An dieser Stelle sollen kurz die verschiedenen Formen der Meßgeräte gezeigt werden, die für den Bau von Schaltanlagen in Betracht kommen.

Die ersten Meßgeräte, die in Deutschland verwendet wurden, hatten runde hohe Form (Bild 26). Diese Aufbauinstrumente werden heute bei Schalttafeln fast nur noch für Sonderzwecke, z. B. hinter aufklappbaren Türen, benutzt. Als Ersatz traten Meßgeräte für Schalttafeleinbau (Bild 27) immer mehr in den Vordergrund. Eine Verbesserung erfuhren diese Geräte durch eine neuartige raumsparende Gehäuseform. Der Gehäuseflansch wurde hierbei wesentlich schmäler gehalten, die Skala der Meßgeräte konnte dafür vergrößert werden. Bild 28 zeigt diesen Gewinn im Vergleich zu einem Gerät der älteren Ausführung. Die raumsparende Wirkung kommt in Bild 29 noch deutlicher zum Ausdruck. In dieser Abbildung wird die Skala eines bisher üblichen Meßgerätes mit 225 mm Außendurchmesser der Skala eines neuen Schalttafelmeßgerätes mit 185 mm Außendurchmesser

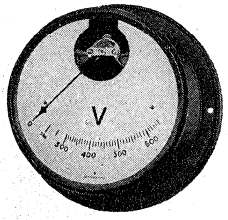


Bild 26. Meßgerät für Schalttafelaufbau.

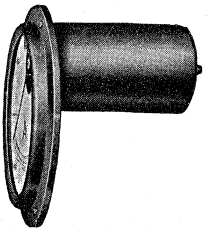


Bild 27. Meßgerät für Schalttafeleinbau.

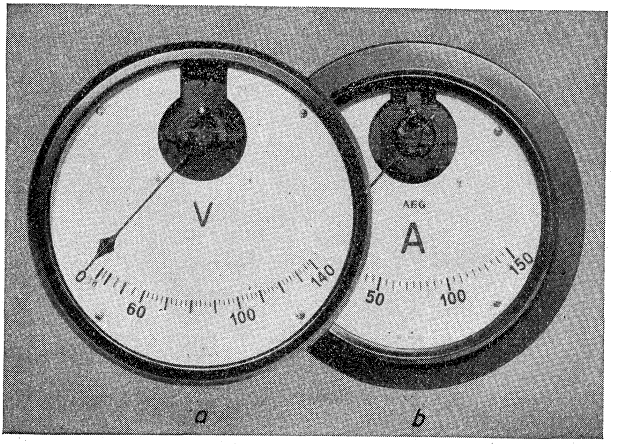
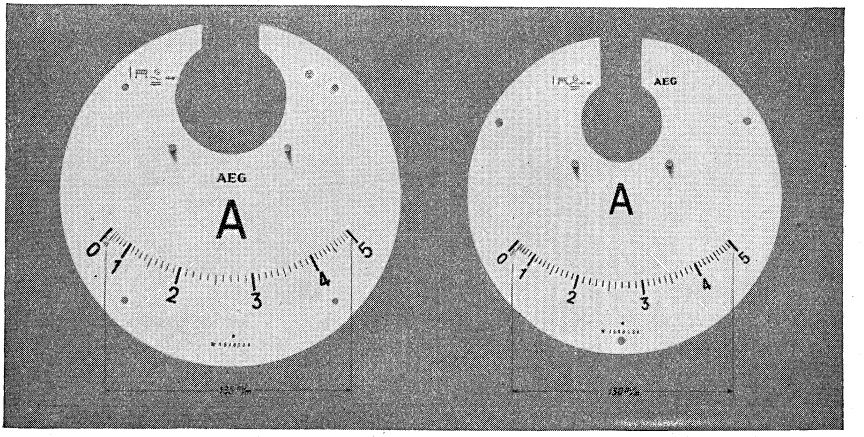


Bild 28. Vergleich zwischen neuen (a) und älteren (b) Meßgeräten.

gegenübergestellt. Die raumsparenden Meßgeräte werden mit 225 und 185 mm Durchmesser ausgeführt, wobei die Instrumente mit 225 mm Durchmesser die frühere Ausführung mit 350 mm Durchmesser, die Geräte mit 185 mm Durchmesser die ältere Form mit 225 mm Durchmesser ersetzen.

Außer den runden Instrumenten sind noch Meßgeräte in quadratischer Form (Bild 30) und Profilinstrumente in Rechteckform (Bild 31) ge-



Bisher übliche Ausführung 225 mm Durchmesser. Neue Ausführung 185 mm Durchmesser.

Bild 29. Skalenvergleich.

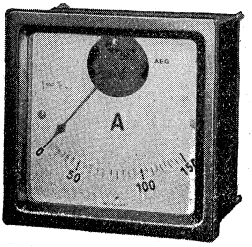


Bild 30. Meßgerät in quadratischer Form.

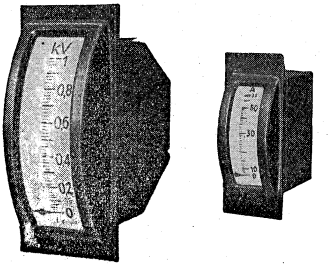


Bild 31. Profil-Meßgeräte.

bräuchlich. Beide Formen werden im Schalttafelbau dann angewendet, wenn es gilt, einen Meßwert aus einer Gruppe anderer besonders herauszuheben oder wenn eine gute Anpassung an eine vorhandene Linienfüh-

rung, beispielsweise bei Schaltpulten, erzielt werden soll. Zur Überwachung der Ströme bzw. Spannungen eines Drehstromsystems lassen sich drei Profilinstrumente unmittelbar neben- oder übereinander anbringen. Durch diese Anordnung wird die Ablesung der Meßwerte wesentlich erleichtert, da die drei Zeigerfahnen ein charakteristisches Anzeigebild ergeben.

Geräte für die Parallelschaltung.

Für den Schalttafelbau sind die Geräte von Wichtigkeit, die zum Parallelschalten von Ds-Generatoren benötigt werden.

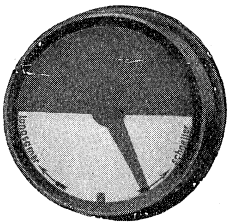


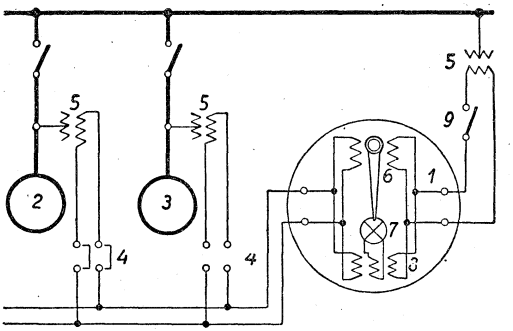
Bild 32. Synchronoskop.

Die Bedingungen, die hierbei erfüllt werden müssen, sind auf Seite 52 angeführt. Ein Gerät, das ein rasches Parallelschalten sehr erleichtert, ist das Synchronoskop der AEG, das deshalb ausführlicher beschrieben werden soll (Bild 32).

Es besteht aus einem Phasenvergleicher, dessen Zeiger sich hinter einer Mattscheibe hin und her bewegt. Der Zeiger wird von einer in Hellschaltung geschalteten Phasenlampe beleuchtet. Bei Synchronismus steht der Zeiger senkrecht nach unten auf der Marke der Mattscheibe, und die Mattscheibe ist hell erleuchtet. Aus der Bewegungsrichtung des Zeigers ist zu erkennen, ob der zuzuschaltende Generator schneller oder langsamer laufen muß. (Siehe auch Seite 54.)

Das Synchronoskop wird nach Schaltbild 33 angeschlossen. Der richtige Anschluß kann wie folgt nachgeprüft werden:

Der Generator-Spannungswandler und der Sammelschienen-Spannungswandler werden von der gleichen Spannung gespeist. Nach Einschalten der Sekundärleitungen der beiden Spannungswandler an die beiden Systeme des Synchronoskops soll der Zeiger des Synchronoskops bei hell brennender Lampe nach unten auf die in der Mitte der Mattscheibe befindliche Marke zeigen. Ist die Mattscheibe dunkel, so ist ein Spannungswandler verkehrt angeschlossen. Es müssen dann die Zuleitungen von einem der Systeme des Synchronoskops vertauscht werden. Ist bei Verwendung von Dreiphasen-Spannungswandlern die Mattscheibe hell, jedoch der Zeiger unsichtbar, so sind verschiedene Phasen angeschlossen. Vor dem Parallelschalten prüfe man durch Verändern der Drehzahl der Turbine den richtigen Drehsinn des Synchronoskops. Der zuzuschaltende Generator muß stets an dem System R—T liegen, damit die Bezeichnungen „langsamer" und „schneller" mit der Drehzahlverstelleinrichtung bei der Turbine übereinstimmen.



1 = Synchronoskop, 6 = Wattmetrisches System,
2 u. 3 = Generatoren, 7 = Glühlampe,
4 = Steckvorrichtungen, 8 = Umspanner,
5 = Spannungswandler, 9 = Ausschalter.

Bild 33. Grundsätzliches Schaltbild des Synchronoskops.

Das Parallelschalten erfolgt am besten bei etwas zu schnell laufendem Generator, kurz bevor der Zeiger in langsamem Lauf die Marke auf der Mattscheibe erreicht hat.

Leuchtet die Lampe beim Synchronisieren dauernd gleichmäßig schwach, wobei der Zeiger etwas aus der Mitte steht, dann ist eine der Zuleitungen zum Synchronoskop unterbrochen.

Für die Beleuchtung der Mattscheibe wird eine Glühlampe in Kugelform für 12 V, 20 W mit Bajonettfassung verwendet. Das Auswechseln der Lampe kann bei nicht versenkt eingebauten Synchronoskopen ohne Ausbau des Instrumentes erfolgen. Es ist nur die Haube des Gerätes abzunehmen. Lampe und Lampenfassung sind auf einem Schlitten befestigt. Der Schlitten läßt sich leicht ein- und ausbauen.

Die Frequenzgleichheit der parallel zu schaltenden Maschinen kann man außerdem mit dem Doppelfrequenzmesser ermitteln. Dieser wird im Abschnitt „Meßgeräte und Messungen" näher beschrieben.

Bei kleineren Anlagen wird man an Stelle des Synchronoskops Spannungsmesser mit parallel geschalteten Phasenlampen verwenden. Für Dunkelschaltung, die in Deutschland am gebräuchlichsten ist, kommt ein Nullspannungsmesser zur Verwendung, dessen Skala im Anfangsbereich auseinandergezogen ist. Für Hellschaltung ist ein Summenspannungsmesser (mit doppelter Skala) vorzusehen.

Synchronisiergeräte werden an Wandarmen angebracht, die aus der Schalttafelebene herausragen. Bei Schaltwarten baut man diese Geräte vielfach in den unter einem Winkel von 45° stehenden Eckfeldern versenkt ein. Damit sie von verschiedenen Stellen der Warte aus gut beobachtet werden können, wird neuerdings ein schwenkbarer Einbau in Vorschlag gebracht. Bild 34 zeigt, wie sich die Vorteile eines drehbaren Wandarmes mit der ruhigen Wirkung eines Synchronisierfeldes vereinigen lassen.

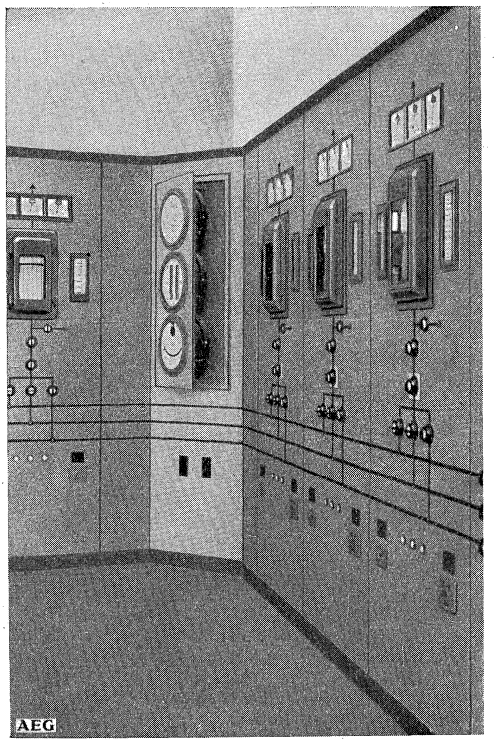


Bild 34. Schwenkbarer Schalttafel-Einbau von Synchronisierungsanlagen

Für gewöhnlich erscheinen die Synchronisiergeräte ebenso wie die anderen Meßgeräte versenkt in die Schalttafelebene eingebaut. Erst wenn sie benötigt werden, zieht man ein Gestell hervor, auf welchem die Synchronisiergeräte sitzen und schwenkt es so, daß die Skalen der Geräte jeweils senkrecht in die Blickrichtung kommen. Das Synchronisierfeld kann auch in der Mitte einer Schalttafel angeordnet werden.

Meßwandler.

Meßwandler dienen dazu, die Meß- und Schutzkreise in elektrischen Anlagen von der Hochspannung zu trennen oder auch die Meßgrößen selbst auf einen bequem meßbaren und einheitlichen Wert zu bringen. Sie sind Umspanner, deren Primärwicklung von dem Strom durchflossen bzw. an die Spannung gelegt wird, die gemessen oder beherrscht werden sollen. In der Sekundärwicklung fließt ein dem Betriebsstrom nahezu verhältnisgleicher und phasengleicher Meßstrom bzw. eine der Betriebsspannung verhältnisgleiche und phasengleiche Meßspannung. Die Primär-

und Sekundärwicklungen sind elektrisch vollständig voneinander getrennt, so daß lediglich eine magnetische Kopplung besteht.

Stromwandler.

Stromwandler werden in Abstufungen für verschiedene Primärstromstärken hergestellt. Sie sind so bemessen, daß sie dauernd mit dem 1,2fachen Nennstrom und während 15 min mit dem 1,5fachen Nennstrom betrieben werden können. Die Sekundärstromstärke beträgt 5 A. Das Verhältnis des primären Nennstromes zum sekundären Nennstrom ist das Übersetzungsverhältnis des Stromwandlers. Die prozentuale Abweichung des Sekundärstromes von seinem Sollwert und seine Phasenverschiebung gegen den Primärstrom kennzeichnen die Genauigkeit des Wandlers.

Je nach der Größe dieser Fehler gehört der Wandler verschiedenen Genauigkeitsklassen an, die in den VDE-Regeln für Wandler festgelegt sind.

Tafel 4. Klasseneinteilung der Stromwandler.

Primärstrom in % seines Nennwertes	Klasse 0.2		Klasse 0.5		Klasse 1		Klasse 3	
	Stromfehler	Fehlwinkel	Stromfehler	Fehlwinkel	Stromfehler	Fehlwinkel	Stromfehler	Fehlwinkel
10%	± 0,5%	± 20'	± 1%	± 60'	± 2%	± 120'	Bei 50% und 100% des Nennstromwertes 3%	nicht begrenzt
20%	± 0,35%	± 15'	± 0,75%	± 40'	± 1,5%	± 80'		
100 u. 120%	± 0,2%	± 10'	± 0,5%	± 30'	± 1%	± 60'		

Die Klassen 0,2 und 0,5 kommen für Präzisionsmessungen und genaue Betriebsmessungen der Leistung und Arbeit in Betracht. Für die üblichen Strommesser, Leistungsmesser, Zähler, Distanzrelais und Erdschlußrelais wird die Klasse 1 angewendet, für alle sonstigen Relais Klasse 3.

Die Leistung, bis zu welcher die Wandler belastet werden dürfen, ohne daß die für ihre Genauigkeitsklasse vorgeschriebenen Fehlergrenzen überschritten werden, wird Nennleistung genannt und in VA ausgedrückt. Die tatsächliche Belastung setzt sich aus dem Leistungsverbrauch der einzelnen angeschlossenen Meßgeräte und der verbindenden Meßleitungen zusammen.

Ausschlaggebend für die Auswahl der Wandlerform ist neben den anzuschließenden Geräten, welche die erforderliche Leistung bestimmen, die Höhe der Betriebsspannung. In den folgenden Tafeln ist eine Übersicht über die gebräuchlichen Wandlerformen bis 20 kV Reihenspannung und ihrer Leistung in Klasse 1 bei 50 Hz sowie den Eigenverbrauch der wichtigsten Meßgeräte, Zähler und Relais gegeben.

Tafel 5. Übersicht über die gebräuchlichen Stromwandler.

Reihenspannung kV	Prüfspannung kV	Form	Primärer Nennstrom A	Art der Isolation	Zulässige Belastung in Kl. 1 bei 50 Hz VA
0,75	3	Wickelwandler ALO	5...300	Trockenisolation	5
		Schienenwandler ASAO	400...20000		5...120
1	10	Wickelwandler AL 1.....	5...1000	Trockenisolation	15...30
3	26	Wickelwandler AL 3.....	5...600	Trockenisolation	15...30
		Schienenwandler ASP3.....	100...3000	Porzallanisolation	bis 120
6	33	Wickelwandler AL 5.....	5...1000	Trockenisolation	15...30
10	42	Wickelwandler AL 10.....	5...1000	Porzellanisolation	45
		Doppel-Durchf.-Wdlr. ADP10	5...500		30...80
		Stabwandler ARP 10.....	30...6000		bis 400
20	64	Topfwandler AP 20.....	5...600	Porzellanisolation	30...80
		Doppel-Durchf-Wdlr. ADP 20	5...500		30...80
		Stabwandler ARP 20.....	30...6000		bis 250

Tafel 6. Eigenverbrauch von Meßgeräten, Zählern und Relais
(für die Auswahl der Stromwandler).

	Art des Meßgerätes	Verbrauch bei 5 A/50 Hz in VA
Strommesser	Anzeigend/Runde Schalttafelform	1,5
	Schreibend/Form RG	6
	Schreibend/Form RM	7
Leistungsmesser	Anzeigend/Runde Schalttafelform, je Phase	3
	Schreibend/Form RG, je Phase	5
	Schreibend/Form RM, je Phase	3
Leistungsfaktormesser	Anzeigend/Runde Schalttafelform	5
	Schreibend/Form RG	16,5
Zähler	Induktions-, (für Wirkverbrauch) je Stromspule	2
	Induktions-, (für Blindverbrauch) je Stromspule	1
Relais	Induktions-Rückstromrelais (RR)	2
	Sofort wirkende Überstromrelais	6,5 (2,5)
	Unabhängige Überstromzeitrelais	5 (2,5)
	Abhängige Überstromzeitrelais	5
	Quotienten-Differentialrelais, je Phase	2
	Einsystemige Richtungsrelais, je Phase	7
	Impedanzrelais (N-Relais)	14
	Schnelldistanzrelais SD	15
Meßleitungen	2,5 mm²/m	0,18
	4,0 mm²/m	0,11
	6,0 mm²/m	0,07

Der Eigenverbrauch der Meßleitungen ergibt sich durch Multiplikation ihrer Gesamtlänge, Hin- und Rückleitung, mit vorstehenden Zahlen

Die primären Anschlüsse der Stromwandler sind mit K und L, die sekundären mit k und l bezeichnet (Bild 35). Die Wandler sind in die Leitungen so einzubauen, daß die Übertragungsrichtung der Leistung mit der Richtung K—L zusammenfällt (K an die vom Generator kommende, L an die zum Verbraucher gehende Leitung). Insbesondere beim Anschluß von Leistungsmessern und Zählern ist darauf zu achten, daß die Leitungen, welche von den Sekundärklemmen l und k kommen, zu den entsprechenden Klemmen der

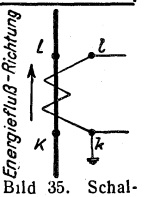


Bild 35. Schaltung und Klemmenbezeichnung des Stromwandlers.

Instrumente geführt werden. Können aus räumlichen Gründen die Wandler mit ihren Primäranschlüssen nicht im richtigen Sinne in die Leitung eingebaut werden, so sind auch die Anschlüsse der Meßleitungen zu vertauschen um richtige Meßergebnisse zu erhalten.

Zum Schutz gegen Beschädigung durch Überspannungen, Schalt- und Wanderwellen, sind die Primärwicklungen der Wandler durch Schutzwiderstände zu überbrücken. Sie bestehen aus einem Silitstab und können auch nachträglich an dem Wandler angebracht werden. Bei einigen Bauformen sind die Widerstände bereits eingebaut. Zum Schutz des Meßkreises gegen Hochspannung

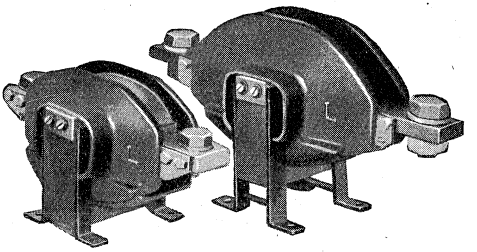
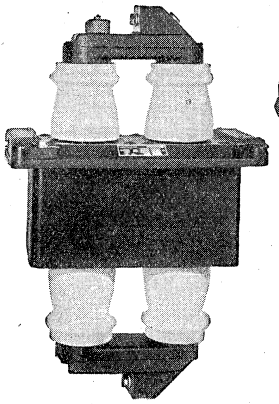


Bild 36. Wickelwandler Reihe 3 und 6.



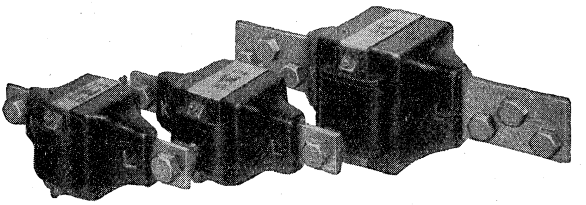


Bild 37. Schienenwandler Reihe 3.

bei etwaigem Durchschlag der Isolation ist die Sekundärwicklung einpolig zu erden, soweit dieses die Gesamtschaltung der Meßanlage zuläßt. Außerdem haben die Wandler eine Erdungsschraube, die mit „E" bezeichnet ist. An dieser Schraube sind die Wandler ebenfalls zu erden.

Bild 38. Doppeldurchführungswandler Reihe 10 mit zwei Kernen.

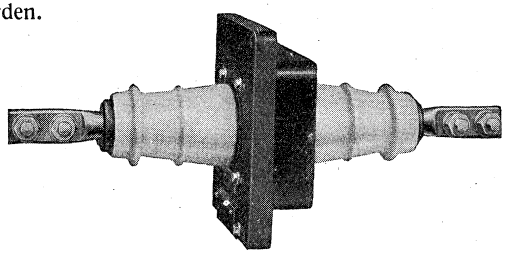


Bild 39. Stabstromwandler Reihe 20.

Der Sekundärkreis der Stromwandler muß im Betrieb entweder durch angeschlossene Meßgeräte oder durch eine Überbrückung dauernd geschlossen sein. Bei offenem Sekundärkreis treten starke Erwärmungen und sekundärseitige Spannungsspitzen auf, die lebensgefährlich sein können. Die Bilder 36 ... 39 zeigen einige Ausführungsformen der Stromwandler.

Spannungswandler.

Die Spannungswandler werden in Abstufungen für verschiedene Primärspannungen geliefert. Sie sind so bemessen, daß sie dauernd mit einer 1,2fachen Nennspannung betrieben werden können. Die Spannungswandler haben durchweg Klemmen für die beiden Sekundärspannungen von 100 und 110 V. Das Verhältnis der primären Nennspannung zu den beiden sekundären sind die Übersetzungsverhältnisse der Spannungswandler. Meßgeräte sind an die Klemmen anzuschließen, deren Spannungswert auf der Skala

angegeben ist, ihr Meßbereich ist so auszulegen, daß der Skalenendwert etwa 20% über der Nennspannung liegt. Bei Anschluß von Zählern ist für die Wahl der Klemmen ebenfalls das auf dem Zählerschild vermerkte Übersetzungsverhältnis maßgebend. Die prozentuale Abweichung der Sekundärspannung von ihrem Sollwert und ihre Phasenverschiebung gegen die Primärspannung kennzeichnen die Genauigkeit des Wandlers, der je nach der Größe dieser Fehler verschiedenen Genauigkeitsklassen angehört. Es kommen die Klassen 0,2/0,5/1 und 3 in Betracht, in welchen bei einer Sekundärleistung zwischen Null und der Nennleistung die nachstehenden Fehler nicht überschritten werden dürfen.

Tafel 7.

Klasse	Spannungsbereich	Spannungsfehler	Fehlerwinkel
0,2	80...120%	±0,2%	± 10'
0,5	80...120%	± 0,5%	± 20'
1	80...120%	± 1%	± 40'
3	100%	± 3%	nicht begrenzt

Die Klassen 0,2 und 0,5 sind bei Präzisionsmessungen und genauen Betriebsmessungen erforderlich, Klasse 1 bei Spannungs- und Leistungsmessern oder Zählern sowie bei Distanz- und Erdschlußrelais, Klasse 3 bei sonstigen Relais.

Die Leistung bis zu welcher die Wandler belastet werden dürfen, ohne daß die für ihre Genauigkeitsklasse vorgeschriebenen Fehlergrenzen überschritten werden, heißt Nennleistung und wird in VA ausgedrückt. Die tatsächliche Belastung des Wandlers wird ermittelt durch Summierung des Leistungsverbrauches der einzelnen angeschlossenen Meßgeräte.

Die folgenden Tafeln geben eine Übersicht über die einzelnen Wandlerformen bis 20 kV Reihenspannung und ihrer Leistungen in Klasse 1, sowie über den Eigenverbrauch der wichtigsten Meßgeräte, Relais und Zähler. Bei Anschluß von Relais können die Wandler über die in Klasse 1 angegebene Leistung hinaus bis zur Grenzleistung belastet werden, die jedoch mit Rücksicht auf die Erwärmung nicht überschritten werden darf.

Tafel 8. Übersicht über die verschiedenen Spannungswandler

Einphasen-Wandler.

Reihenspannung kV	Prüfspannung kV	Form	Primärnennspannung V	Art der Isolation	Zulässige Belastung in Kl. 1 bei 50 Hz in VA
0	3	VWPO	110...1 000	Trockenisolation	60
3	26	VWP 3	500...6 000	Trockenisolation	60
10	42	VWP 10	3 000...15 000	Trockenisolation	240
		VWO 10	3 000...15 000	Ölisolation	180
		EVWP 10	$3000/\sqrt{3}$...$10\,000/\sqrt{3}$	Trockenisolation	120...160
20	64	VWP 20	6 000...25 000	Trockenisolation	360
		VWO 20	6 000...25 000	Ölisolation	200
		EVWP 20	$6000/\sqrt{3}$...$20000/\sqrt{3}$	Trockenisolation	160...240

Tafel 9. Dreiphasen-Erdungswandler.

Reihen-spannung kV	Prüf-spannung kV	Form	Primär-nennspannung	Art der Isolation	Zulässige Belastung in Kl. 1 bei 50 Hz in VA
0	3	EVDLO	100...750 V/$\sqrt{3}$	Trockenisolation	3 × 100*)
10	42	EVDO 10	3000...10000 V/$\sqrt{3}$	Ölisolation	3 × 200
20	64	EVDO 20	6000...20000 V/$\sqrt{3}$	Ölisolation	3 × 200

*) Bei sattem Erdschluß; bei Nennspannung 3 × 8 VA.

Tafel 10. Eigenverbrauch von Meßgeräten, Zählern und Relais

(für die Auswahl der Spannungswandler).

Art des Meßgerätes		Verbrauch bei 100 V/50 Hz in VA
Spannungsmesser	Anzeigend/Runde Schalttafelform	3,5
	Schreibend/Form RG	20
	Schreibend/Form RM	15
Leistungsmesser	Anzeigend/Runde Schalttafelform	6 (4)*)
	Schreibend/Form RG	3,5 (7)*)
	Schreibend/Form RM	5
Leistungsfaktormesser	Anzeigend/Runde Schalttafelform	7
	Schreibend/Form RG	15
Zähler	Induktions-, (für Wirkverbrauch) je Spule	4
	Induktions-, (für Blindverbrauch) je Spule	5
	Induktions-Rückstromrelais (RR)	4
	Synchronmotor	3
	Ferrarismotor	4,5
Relais	Sofort wirkende Unterspannungsrelais	12 (7)
	Einsystemige Richtungsrelais (bei Ansprechen) ..	38
	Impedanzrelais (N-Relais) (dauernd)	10
	Schnelldistanzrelais (erregt)	60

*) Bei ungleicher Phasenbelastung, je Phase.

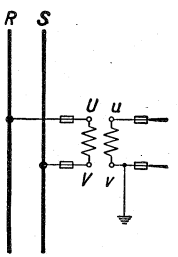


Bild 39a. Einphasen-Spannungswandler.

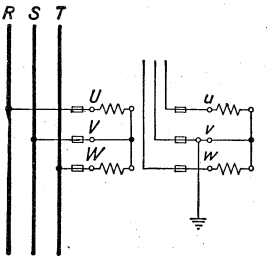


Bild 39b. 2 Einphasenwandler in V-Schaltung.

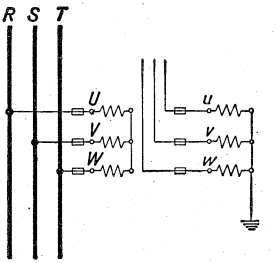


Bild 39c. 3 Einphasenwandler in Sternschaltung.

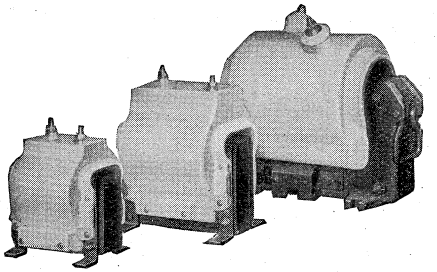


Bild 40. Doppelpolig isolierte Einphasen-Spannungswandler Reihe 0—30 mit Trockenisolation.

Die Gehäuse der Spannungswandler sind stets zu erden. Zum Anschluß der Erdleitung ist eine mit E bezeichnete Erdungsschraube vorgesehen. Außerdem ist, sofern es die Gesamtschaltung der Meßanlage zuläßt, die Sekundärwicklung zu erden. Bei Einphasen-Spannungswandlern erfolgt diese Erdung an einer der sekundären Klemmen, bei Dreiphasen-Spannungswandlern oder drei Einphasenwandlern in Sternschaltung in der Regel am sekundären Nullpunkt, der bei diesen Wandlern stets herausgeführt ist (Bild 39a—c). In Anlagen, in denen Einphasen- und Dreiphasen-Spannungswandler erforderlich sind, ist es zweckmäßiger, bei beiden Wandlerarten die Phase S sekundär zu erden.

Ist eine unmittelbare Erdung nicht angängig, so sind in den Erdverbindungen **Durchschlagsicherungen** vorzusehen, die eine Erdung erst dann herstellen, wenn die Sekundärwicklung eine größere Spannung als 600 V gegen Erde angenommen hat.

Die Spannungswandler sind zweckmäßig hochspannungsseitig mit Sicherungen zu versehen, damit sie bei eigenen Fehlern vom Hochspannungsnetz abgeschaltet werden. Hierfür werden durch Glasrohre geschützte Streifensicherungen verwendet. Um die Spannungswandler gegen sekundäre Überlastungen zu schützen, empfiehlt sich außerdem die Verwendung von Niederspannungssicherungen, und zwar sind alle Sekundärleitungen zu sichern, die nicht geerdet sind. Hierfür genügen im allgemeinen normale Sicherungen mit Schraubstöpsel für 4 A.

Spannungswandler dürfen im Gegensatz zu den Stromwandlern nie sekundär kurzgeschlossen werden. Schaltbilder siehe Seiten 140...142

Die Bilder 40 und 41 zeigen zwei Formen der Spannungswandler.

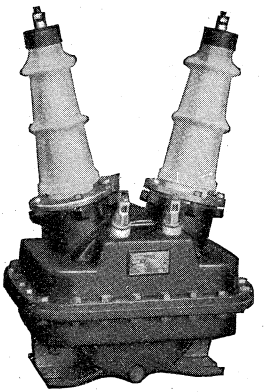


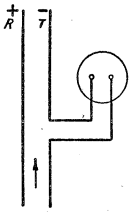
Bild 41. Doppelpolig isolierter Einphasen-Spannungswandler Reihe 10—30 mit Ölisolation.

Schaltungen von Meßgeräten.

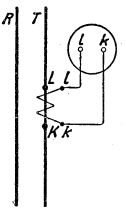
Schaltung von Strommessern.

Weicheisen- und Weicheisen-Präzisions-Strommesser für Gleich- und Wechselstrom.

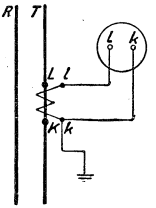
Drehspul-Strommesser nur für Gleichstrom.



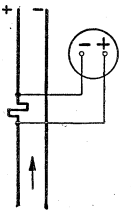
Gleich- und Wechselstrom.



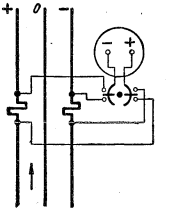
Wechselstrom höherer Stromstärken.



Wechselstrom-Hochspannung.



Normale Schaltung.

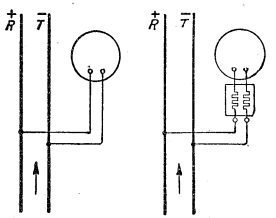


Mit Umschalter für zwei Stromkreise.

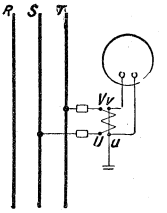
Schaltung von Spannungsmessern.

Weicheisen- und Weicheisen-Präzisions-Spannungsmesser für Gleich- und Wechselstrom.

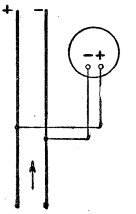
Drehspul-Spannungsmesser nur für Gleichstrom.



Gleich- und Wechselstrom ohne Vorwiderstand. mit Vorwiderstand.

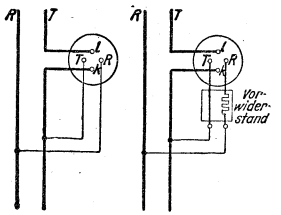


Wechselstrom-Hochspannung.

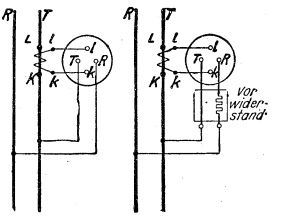


Bis 650 V.

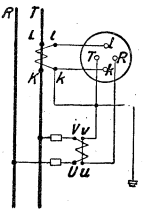
Schaltung von Leistungsmessern in Wechselstromanlagen.



Für Stromstärken bis 5 A. bis 260 V. 260 bis 650 V.



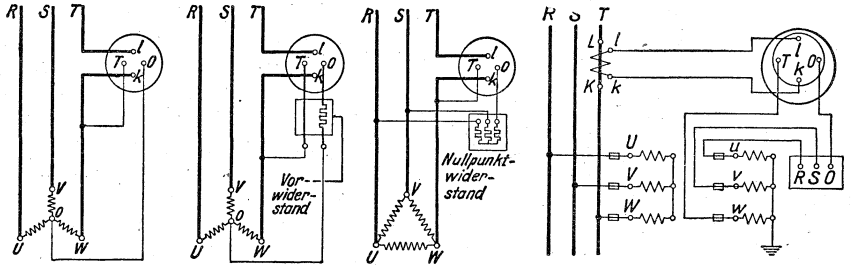
Für höhere Stromstärken bis 260 V. 260 bis 650 V.



Für Hochspannung

Schaltung von Leistungsmessern in Drehstromanlagen mit gleichbelasteten Phasen*

a) Wechselstrom-Leistungsmesser, Gesamtleistung = 3 × Angabe des Gerätes.
b) Drehstrom-Leistungsmesser für gleichbelastete Phasen. Gesamtleistung direkt ablesbar.

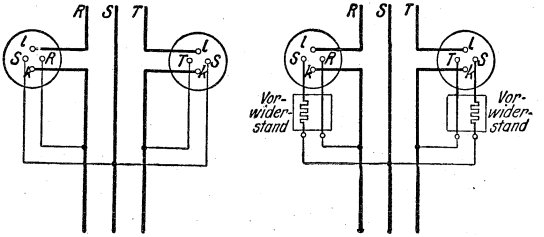


Nullpunkt zugänglich. Nullpunkt unzugänglich. Für Hochspannung.

Die Spannungsspule der Geräte muß stets an den Nullpunkt und diejenige Phase angeschlossen werden, in der die Stromspule liegt.

Schaltung von Leistungsmessern in Drehstromanlagen mit beliebig belasteten Phasen ohne Nulleiter*.

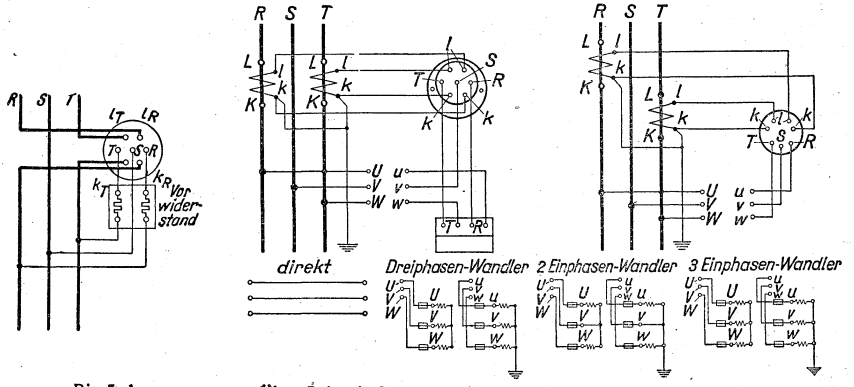
a) Messung mit 2 Wechselstrom-Leistungsmessern (Aronschaltung).
Gesamtleistung = Summe der Angaben beider Geräte.



Bis 260 V. Von 260 bis 650 V.

Die Spannungsspule jedes Gerätes muß an die freie dritte Phase und diejenige Phase angeschlossen werden, in der die Stromspule liegt.

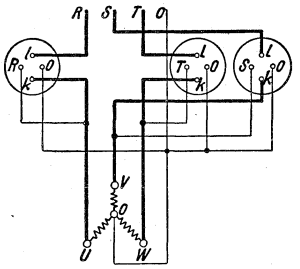
b) Messung mit 1 Drehstrom-Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen.
Gesamtleistung direkt ablesbar.



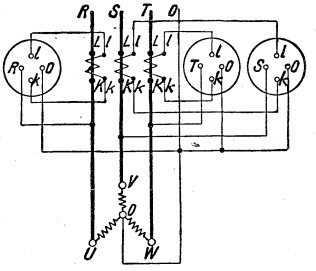
Bis 5 A ohne Stromwandler. Über 5 A mit Stromwandler. Für Hochspannung mit Strom- und Spannungswandler.

Schaltung von Drehstrom-Leistungsmessern in Drehstromanlagen mit beliebig belasteten Phasen und belastetem Nulleiter*.

a) Messung mit drei Wechselstrom-Leistungsmessern.
Gesamtleistung = Summe der Angaben der drei Geräte.



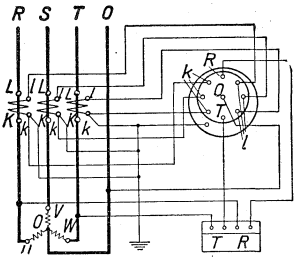
Für Stromstärken bis 5 A.



Für höhere Stromstärken.
Bis 260 V ohne, über 260 V mit Vorwiderstand.

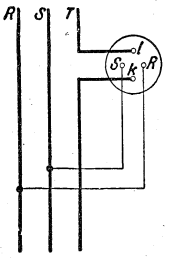
Die Spannungsspule jedes Instrumentes muß an den Nulleiter und diejenige Phase angeschlossen werden, in der die Stromspule liegt.

b) Messung mit einem Drehstrom-Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen und belasteten Nulleiter. Gesamtleistung direkt ablesbar.

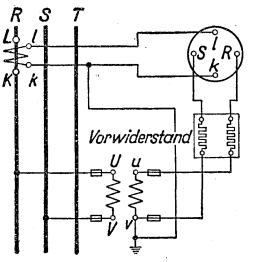


Über 5 A mit Stromwandlern.

Schaltung von Blindstrommessern (J.sin φ-Messer)*.

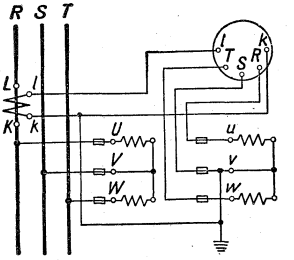


Für Niederspannung.



Für Hochspannung.
Die Spannungsspule der Geräte wird an zwei Phasen angeschlossen und die Stromspule in die dritte Phase gelegt.

Schaltung von Leistungsfaktormessern (cos φ-Messer)*.



Für Hochspannung.

* In obigen Schaltungen ist der sekundäre Nullpunkt der Spannungswandler geerdet. In Anlagen mit Wechselstrom- und Drehstrom-Spannungswandlern ist es zweckmäßiger, bei beiden Wandlerarten die Phase S sekundär zu erden.

Sinnbilder für Meßgeräte. (VDE. 0410)

Nr.	Arten der Meßgeräte		Nr.	Arten der Meßgeräte	
1	Drehspulmeßgerät mit Dauermagnet		15	Isolierter Thermoumformer mit Drehspulmeßgerät*)	
2	Drehspul-Quotientenmesser		16	Gleichrichter	
3	Dreheisen-Meßgerät		17	Gleichrichter in Verbindung mit Drehspulmeßgerät*	
4	Dreheisen-Quotientenmesser		18	Meßgerät mit Eisenschirm (Sinnbild für den Schirm)	
5	Elektrodynamisches Meßgerät		19	Gleichstrom	
5a	Eisengeschlossenes, elektrodynamisches Meßgerät		20	Wechselstrom	
6	Elektrodynamischer Quotientenmesser		21	Gleich- und Wechselstrom	
6a	Eisengeschlossener, elektrodynamischer Quotientenmesser		22	Drehstrom-Meßgerät mit einem Meßwerk	
7	Induktionsmeßgerät		23	Drehstrom-Meßgerät mit zwei Meßwerken	
8	Induktions-Quotientenmesser		24	Drehstrom-Meßgerät mit drei Meßwerken	
9	Hitzdrahtmeßgerät		25	Senkrechte Gebrauchslage	
10	Elektrostatisches Meßgerät		26	Waagerechte Gebrauchslage	
11	Vibrationsmeßgerät		27	Schräge Gebrauchslage	
12	Thermoumformer, allgemein		28	Schräge Gebrauchslage mit Angabe des Neigungswinkels	
13	Thermoumformer mit Drehspulmeßgerät*		29	Nulleinstellung	
14	Isolierter Thermoumformer		30	Prüfspannungszeichen: schwarzumrandeter Stern**)	

*) Wenn kein Irrtum möglich ist, so können die Sinnbilder 12, 14, 16 an Stelle von 13, 15, 17 genommen werden.

**) Ohne Ziffer: Prüfspannung 500 V. Zugefügte Ziffer bedeutet Prüfspannung in kV.

Zähler.

Zähler werden im Abschnitt „Elektrizitätszähler" ausführlich besprochen. An dieser Stelle sollen nur die Besonderheiten hervorgehoben werden, die sich im Zusammenhang mit der Verwendung in Schaltanlagen ergeben.

Bei der Zählung gelieferter elektrischer Arbeit an Großabnehmer muß auf Genauigkeit großer Wert gelegt werden. Für diese Messungen kommen deshalb in Drehstrom-Hochspannungsanlagen nur Zähler für ungleich belastete Phasen in Betracht, vorzugsweise Präzisionszähler. Die zugehörigen Meßwandlersätze sollten der Klasse 0,2, mindestens aber der Klasse 0,5 angehören. Andere Verbraucher, Meßgeräte oder Relais, dürfen an diese Wandler nicht angeschlossen werden.

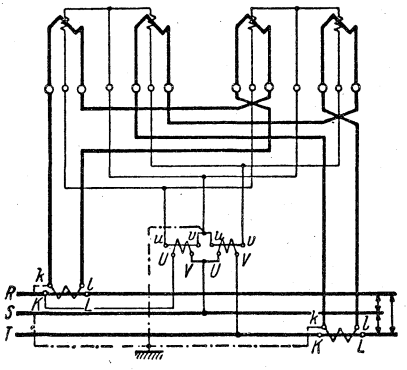


Bild 42. Drehstrom-Dreileiterzähler mit Rücklaufhemmung für Vor- und Rückstrom und mit zwei Strom- und zwei Spannungswandlern.

Die Elektrizitätswerke verlangen in Anschlußanlagen vielfach die Unterbringung der Zählerwandler in einem eigenen abgeschlossenen Raum oder in einer verschließbaren Meßzelle. Wenn vom Verbraucher ein Vergleichszähler angeschlossen wird, dann kommt gewöhnlich das Mittel aus beiden Zählerablesungen zur Verrechnung.

Die verschiedenen Tarife werden im Abschnitt „Elektrizitätszähler" behandelt. Ist bei einem Anschluß sowohl mit Stromentnahme als auch mit Stromlieferung zu rechnen, dann müssen die Zählwerke mit Rücklaufhemmung versehen werden (Bild 42). Meist sind in solchen Fällen Sonderausführungen, z. B. Zähler mit Doppelzählwerken erforderlich.

Von manchen Elektrizitätswerken wird der Phasenverschiebung bei der Tarifgestaltung größere Bedeutung beigemessen. Es wird häufig von den Abnehmern für den Blindverbrauch ein Zuschlag verlangt. Je höher dieser Zuschlag ist, desto größer ist das Interesse des Abnehmers, den aufgenommenen Blindstrom zu kompensieren. Auch hier sind je nach den vorliegenden Verhältnissen Zähler in Sonderausführung notwendig. In Bild 43 ist der Anschlußplan für ein Wirk- und Blindverbrauchszähler-Aggregat dargestellt. Erklärung des Leistungsfaktors siehe Abschnitt „Messungen und Meßgeräte". Über Kompensation des Blindstromes siehe Abschnitt „Verbesserung des Leistungsfaktors".

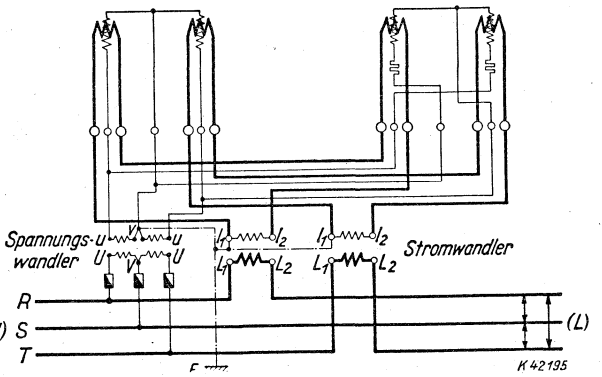


Bild 43. Wirk- und Blindverbrauchszähler-Aggregat mit Anschluß an Strom- und Spannungswandler.

Für besondere Tarifformen, wie z. B. Mehrfachtarif, Maximumtarif, Tarife nach bestellter Leistung usw. sind ebenfalls Spezial-Zähler erforderlich. Eine Norm für solche Tarifmeßsätze kann naturgemäß in all-

gemein gültiger Form nicht gegeben werden. Es ist vielmehr erforderlich, diese Meßsätze an Hand des vereinbarten Tarifvertrages von Fall zu Fall zusammenzustellen.

Zähler und alle zur Verbrauchsabrechnung bestimmten Apparate müssen von Zeit zu Zeit auf ihre Meßgenauigkeit untersucht werden. Diese Nachprüfung und eine evtl. erforderliche Neueinstellung werden zweckmäßig in einer amtlichen Prüfstelle vorgenommen. Zu bemerken ist dabei, daß die meisten größeren und mittleren Elektrizitätswerke und Überlandzentralen ihre Zählerabteilung inzwischen als elektrisches Prüfamt oder als Prüfamts-Außenstellen ausgebaut haben. Diese Prüfstellen sind mit allen zur Untersuchung und Neueinstellung der Zähler notwendigen Einrichtungen ausgestattet und verfügen auch über fachmännisch ausgebildete Kräfte.

Zur einfachen Summierung der verschiedenen Leistungswerte in parallelgeschalteten Stromkreisen durch einen einzigen Zähler kommt ein Summenstromwandler in Anwendung, der eine Sekundärwicklung für 5 A und je nach der Zahl der zu summierenden Anlagen zwei oder mehr voneinander unabhängige Primärwicklungen besitzt, die ebenfalls für 5 A ausgelegt sind. Das Übersetzungsverhältnis der Sekundärwindungen zu der Summe der Primärwindungen ist 1:1. Die Windungszahlen der Teilspulen müssen sich verhalten wie die Übersetzungen der Hauptwandler. Die primären Teilwicklungen werden an die Sekundärseite von Hauptstromwandlern angeschlossen, die in den zu summierenden Primärstromkreisen eingebaut sind. Diese Wandler können zur Summierung von 2, 3 und mehr Einzelstromkreisen gebaut werden (Bild 44).

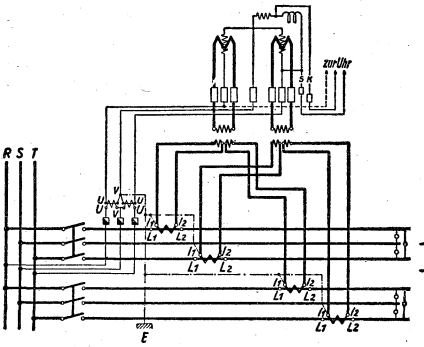


Bild 44. Summenschaltung zweier Netze unter Verwendung von Summenstromwandlern.

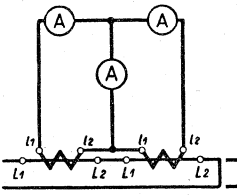


Bild 45a. Prüfschaltung eines Stromwandlers bei Feststellung der richtigen Klemmenbezeichnung.

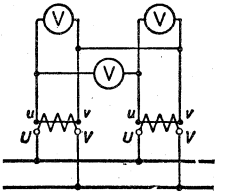


Bild 45b. Prüfschaltung einesSpannungswandlers bei Feststellung der richtigen Klemmenbezeichnung.

Der Anschluß der Zähler für Hochspannung ist an Hand der den Zählern beigegebenen Schaltpläne zu überprüfen. Ist der Leitungsanschluß und der Zähler in Ordnung befunden worden und der Zähler zeigt trotzdem falsch, dann kann der Fehler in der Polung der Wandler liegen. Auf diese Schlußfolgerung wird man vor allem dann kommen, wenn die Lieferung von Zähler und Wandlern nicht aus einer Quelle stammen. Die Klemmenbezeichnung von Stromwandlern kann man wie folgt untersuchen (Bild 45a und b):

Man schaltet die Primärwicklung des zu untersuchenden Stromwandlers mit der eines Stromwandlers mit richtiger Klemmenbezeichnung in Reihe. Bei richtiger Klemmenbezeichnung des zu untersuchenden Wandlers zeigt der mittlere Strommesser die Differenz, bei falscher Klemmenbezeichnung die Summe der beiden Sekundärströme an. Ähnlich kann man mit Spannungswandlern verfahren. Bei richtiger Klemmenbezeichnung gibt der mittlere Spannungsmesser keinen Ausschlag, bei falscher Klemmenbezeichnung zeigt er die Summe der Sekundärspannungen an.

Isolatoren und Leitungsträger.

Als Träger der blanken Verbindungsleitungen und der Sammelschienen werden in Schaltanlagen für Spannungen bis 45 kV fast ausschließlich Porzellanisolatoren verwendet. Die Isolatoren sind genormt und nach der Umbruchskraft, mit der im Kurzschlußfall zu rechnen ist, in drei Gruppen eingeteilt:

Gruppe A ..... Umbruchskraft 375 kg
Gruppe B ..... Umbruchskraft 750 kg
Gruppe C ..... Umbruchskraft 1250 kg

gemessen am Kopf des Stützisolators.



Bild 46. Stützisolator.

Zum Zweck der Befestigung der Stützisolatoren wird der Fuß des Isolators, zur Aufnahme der Leitungen der Kopf desselben mit einer Armatur versehen. Die Verbindungen zwischen Porzellankörper und den Metallteilen kann entweder kittlos oder mit einem Porzellankitt von z. B.

vier Gewichtsteilen Bleiglätte — ein Gewichtsteil Glyzerin
oder mit Portlandzement

erfolgen. Die Kappe am Isolatorkopf ist mit einem Gewindenippel zur Befestigung des Leitungsträgers versehen. Die Befestigungsteile am Isolatorfuß haben je nach der Umbruchskraft des Isolators verschiedene Formen. Sie werden bestimmt durch die Anzahl der erforderlichen Befestigungsschrauben. Bei Verwendung einer Schraube ist der Sockel rund (Bild 46), bei zwei Schrauben oval und bei vier Schrauben quadratisch.

Als Träger blanker Rundkupferleitungen kommt für Stromstärken bis 600 A für Umbruchskräfte bis 375 kg das von der AEG entwickelte konzentrische Klemmensystem (Bild 47) zur Verwendung, für Al-Rundleiter sind Deckelklemmen zu benützen. Für größere Stromstärken und höhere Umbruchskräfte werden Flach- und U-Profilträger erforderlich (Bild 48).

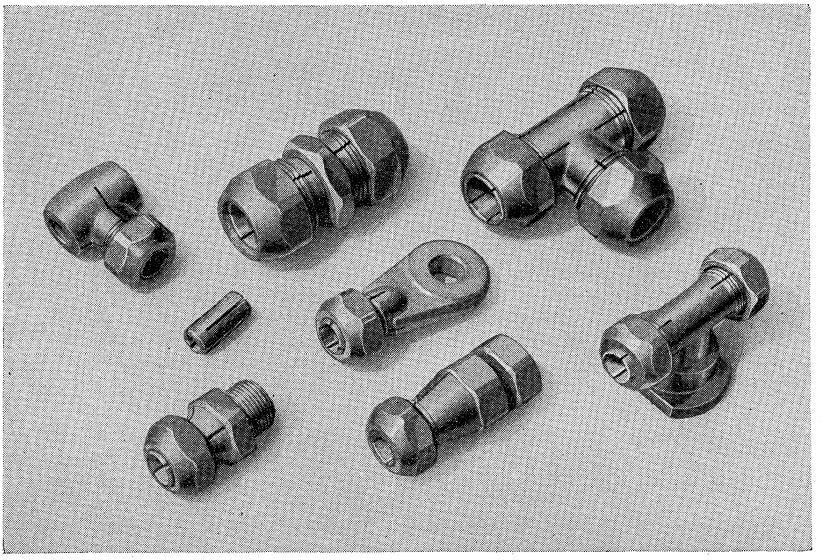


Bild 47. Konzentrisches Klemmensystem.

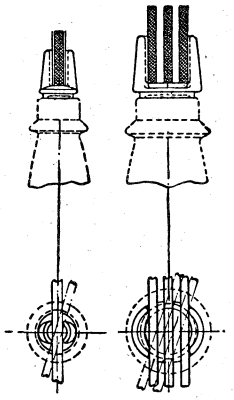


Bild 48. Flachschienenträger.

Die Durchführungsisolatoren sind vom VDE für 750 und 1250 kg Umbruchskraft einheitlich festgelegt worden (Bild 48a). Sie sind für die Leitungsverlegung durch Wände und Decken bestimmt und bestehen aus einem Porzellankörper, der einen Metalleiter umschließt. An beiden Enden des Isolators sind Metallkappen aufgesetzt, welche den Hohlraum des Isolators abschließen und dem Metallbolzen eine Führung geben. Die Bolzen tragen an den Enden Gewinde mit Muttern für den Anschluß von Leitungen. Wo es die Leitungsführung zuläßt, wird man, zwecks Ersparung von Schraubstellen, die immer zu Störungen Anlaß geben können, die Leitungen ohne Unterbrechung durch den Isolator führen. Die Durchführungen erhalten zur Befestigung an Decken oder Wänden Flansche, welche bis 600 A aus Gußeisen, bei Durchführungen für größere Stromstärken aus nicht magnetisierbarem Werkstoff, z. B. Silumin, bestehen. Die Flansche sind mit Erdungsschrauben versehen.

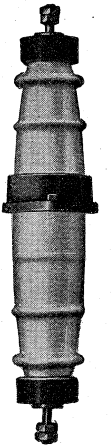


Bild 48a. Durchführungsisolator.

Als Freileitungseinführung benutzt man Durchführungen der nächsthöheren Spannungsreihe, soweit nicht für höhere Spannungen Sonderdurchführungen für diesen Zweck in Frage kommen.

Blanke Leitungen.

Im Schaltanlagenbau ist man bestrebt, **alle** Hauptleitungen als **blanke Leiter** zu verlegen. Werkstoffe hierfür sind: Kupfer, Aluminium und für Querschnitte über 500 mm² Magnesium (lichtbogengeschützte Sammelschienen, Generatoren-Leitungen usw.). Die elektrischen Eigenschaften dieser Metalle sind in der nachstehenden Tafel zusammengestellt.

Tafel 11. Eigenschaften der Stromleiterwerkstoffe.

Werkstoff	Kupfer	Leitaluminium	Leitmagnesium
Spezifisches Gewicht g/cm³	8,93	2,7	1,8
Leitfähigkeit $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$	56	35	23
Elektr. Leitfähigkeit im Verhältnis zu Kupfer in %	100	62	41
Elektr. Leitfähigkeit im Verhältnis zu Kupfer, auf das Gewicht bezogen in %	100	205	212
Elektr. Leitfähigkeit im Verhältnis zu Aluminium, auf das Gewicht bezogen in %	49	100	104

Kupfer.

Für Stromstärken bis 600 A (bei Cu) können, ausreichende Kurzschlußfestigkeit vorausgesetzt, hartblankgezogene Rundleitungen verlegt werden. Größere Stromstärken bedingen die Verwendung von Flachprofilen, die bei großen Strömen als parallele Leiter zu Schienenpaketen zusammengefaßt werden. Um eine gute Kühlung und eine bequeme Anschlußmöglichkeit zu erreichen, wählt man den Luftzwischenraum zwischen den Schienen gleich der Schienenstärke.

Tafel 12. Belastung von blanken Flachkupfer-Leitungsschienen.

Normale Dauerbelastung A	Flachkupfer Querschnitt mm²	Flachkupfer Maße mm	Flachkupfer Gew. je m kg	Schrauben je Verbindung	Normale Dauerbelastung A	Flachkupfer Querschnitt mm²	Flachkupfer Maße mm	Flachkupfer Gew. je m kg	Schrauben je Verbindung
60	24	12 × 2	0,21	1 × M 6	1300	800	80 × 10	7,12	4 × ½"
100	30	15 × 2	0,27	1 × M 8		600	2 × (60 × 5)	5,34	3 × ½"
150	45	15 × 3	0,40	1 × M 8		600	3 × (40 × 5)	5,34	2 × M 10
	40	20 × 2	0,36		1500	1000	100 × 10	8,9	4 × ½"
200	100	20 × 5	0,89	1 × M 10		800	2 × (80 × 5)	7,12	4 × ½"
	75	25 × 3	0,67			750	3 × (50 × 5)	6,9	3 × M 10
250	90	30 × 3	0,8	1 × M 10	2000	1600	2 × (80 × 10)	14,24	4 × ½"
350	150	30 × 5	1,34	1 × ½"		1000	2 × (100 × 5)	8,9	4 × ½"
	120	40 × 3	1,07			1500	3 × (50 × 10)	13,35	3 × M 10
450	200	40 × 5	1,78	2 × M 10	2500	1600	2 × (80 × 10)	14,24	4 × ½"
600	320	40 × 8	2,85	2 × ½"		1200	3 × (80 × 5)	10,68	4 × ½"
	250	50 × 5	2,23			1200	4 × (60 × 5)	10,68	3 × ½"
700	300	60 × 5	2,67	3 × M 10	3000	2000	2 × (100 × 10)	17,8	4 × ½"
800	500	50 × 10	4,45	3 × M 10		1500	3 × (100 × 5)	13,35	4 × ½"
	400	80 × 5	3,56	4 × M 10		2000	4 × (50 × 10)	17,8	3 × M 10
	400	2 × (40 × 5)	3,56	2 × M 10	3500	2400	3 × (80 × 10)	21,36	4 × ½"
900	400	80 × 5	3,56	4 × ½"		2000	4 × (100 × 5)	17,8	4 × ⅝"
	400	2 × (40 × 5)	3,56	2 × M 10		2000	5 × (80 × 5)	17,8	4 × ½"
1000	600	60 × 10	5,34	3 × ½"	4000	3000	3 × (100 × 10)	26,7	4 × ⅝"
	500	100 × 5	4,45	4 × ½"		3200	4 × (80 × 10)	28,48	4 × ½"
	500	2 × (50 × 5)	4,45	3 × M 10		2500	5 × (100 × 5)	22,25	4 × ⅝"

Eine zweckmäßige Form für Sammelschienen großer Stromstärken für Drehstromschaltanlagen ist wegen der günstigen Stromverdrängung die U-Profilform. Sie zeichnet sich außerdem durch große mechanische Festigkeit aus und hat große Abkühlungsflächen.

Die Entfernung der Stützpunkte soll bei Rund- und Flachprofilen 2 m nicht überschreiten. Sammelschienenabstützungen werden in Hochspannungs-Schaltanlagen auf Zellenteilung gesetzt. Rohr- und U-Profile lassen eine größere Entfernung der Abstützpunkte zu.

Die zulässige Belastung für blanke Leitungen ist für die gebräuchlichsten Querschnitte in den Tafeln 12—18 für Kupfer, Aluminium und Magnesium zusammengestellt. Der angegebenen Belastung ist bei Dauernennstrom eine Erwärmung der Schienen von etwa 30° C über Raumtemperatur zugrunde gelegt.

Aluminiumflachschienen.

Aluminiumflachschienen werden wie Kupferschienen durch Schrauben verbunden oder aber miteinander verschweißt. Da die Verwendung von Aluminium und Magnesium als Stromleiter große Bedeutung gewonnen hat, soll die Bearbeitung dieser Schienen etwas ausführlicher behandelt werden. Die Schwierigkeiten, die sich bei der Anwendung der Aluminiumschienen im Schaltanlagenbau anfangs ergaben, hatten ihre Ursache im wesentlichen darin, daß der Reinheitsgrad des Aluminiums

Tafel 13. Aluminium-Leitungsschienen.
Genormte Flachschienen mit Schraubenverbindungen[2]).

Aluminium-Flachschienen			Verbindungsstellen										
				Anzahl, Größe und Anordnung der Schrauben aus St 50·11[2])									
				1 Schraube		2 Schrauben			4 Schrauben				
Breite × Dicke b × a	Querschnitt q = ab	Gewicht	Schraubendruck[1])	Überlappung l	Größe	Überlappung l	Abstand e	Größe	Überlappung l	Abstand e[3])	Abstand e_1	Größe
mm	mm²	kg/m	kg	mm		mm	mm		mm	mm	mm	
12 × 2	24	0,065	80	14	M 5	25	14	M 4	—	—	—	—
15 × 2	30	0,081	110	15	M 6	30	16	M 5	—	—	—	—
20 × 2	40	0,108	200	20	M 8	36	18	M 6	—	—	—	—
15 × 3	45	0,122	110	15	M 6	30	16	M 5	—	—	—	—
20 × 3	60	0,162	200	20	M 8	36	18	M 6	—	—	—	—
25 × 3	75	0,202	310	25	M10	42	22	M 8	—	—	—	—
30 × 3	90	0,243	450	30	½"	50	26	M10	—	—	—	—
40 × 3	120	0,324	720	36	⅝"	62	32	½"	—	—	—	—
20 × 5	100	0,270	200	20	M 8	36	18	M 6	—	—	—	—
25 × 5	125	0,338	310	25	M10	42	22	M 8	—	—	—	—
30 × 5	150	0,405	450	30	½"	50	26	M10	—	—	—	—
40 × 5	200	0,540	720	36	⅝"	62	32	½"	—	—	—	—
50 × 5	250	0,675	1050	42	¾"	62	32	½"	50	26	26	M10
60 × 5	300	0,810	1500	50	⅞"	75	38	⅝"	60	32	32	½"
80 × 5	400	1,08	2500	62	1⅛"	90	45	¾"	75	38	40	⅝"
100 × 5	500	1,35	4500	—	—	—	—	—	90	45	50	¾"
40 × 10	400	1,08	720	36	⅝"	62	32	½"	—	—	—	—
50 × 10	500	1,35	1050	42	¾"	62	32	½"	50	26	26	M10
60 × 10	600	1,62	1500	50	⅞"	75	38	⅝"	60	32	32	½"
80 × 10	800	2,16	2500	62	1⅛"	90	45	¾"	75	38	40	⅝"
100 × 10	1000	2,70	4500	—	—	—	—	—	90	45	50	¾"

Bild 1

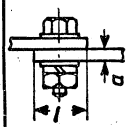


Bild 2

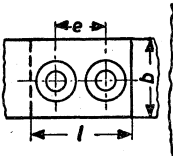
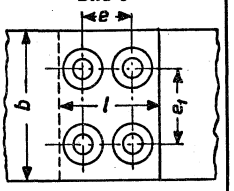


Bild 3



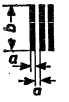
[1]) Der Flächendruck beträgt zweckmäßig etwa 50 kg/cm² (Schraubenlöcher als Druckfläche mitgerechnet). Bei zu geringem Druck kann der Übergangswiderstand und damit die Erwärmung im Laufe der Zeit stark ansteigen. Bei zu hohem Flächendruck wird das Aluminium allmählich weggequetscht, so daß der notwendige Kontaktdruck verlorengeht. Schrauben sind stets zu sichern durch Federringe nach Bild 1.

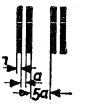
[2]) Schraubenwerkstoff nach DIN 266. Für St 50.11 z. B. Durbus-Schrauben mit 55 bis 65 kg/mm² Festigkeit verwenden.

[3]) Bei rechtwinkligem Anschluß nimmt man meist quadratische Überlappung; dann wird e auf e_1 vergrößert.

Tafel 14. Aluminium-Leitungsschienen.

Zulässige Dauer-Gleichstrom-Belastung					Zulässige Dauer-Wechselstrom-Belastung			
Breite × Dicke b × a	Stromstärke in A bei Erwärmung um 30° Angestrichene Schienen Anzahl der Schienen eines Leiterbündels							
mm	1	2	3	4	1	2	3	4
12 × 2	100	180	—	—	103	178		
15 × 2	125	215	—	—	125	215		
20 × 2	160	280	—	—	160	280		
15 × 3	150	265	—	—	150	265		
20 × 3	195	340	—	—	195	340		
25 × 3	240	415	—	—	240	415		
30 × 3	280	490	—	—	280	590		
40 × 3	370	640	—	—	360	620		
20 × 5	260	450	—	—	250	440		
25 × 5	310	535	—	—	310	535		
30 × 5	365	635	—	—	365	635		
40 × 5	475	825	1150	—	475	810	1130	
50 × 5	580	1010	1400	—	580	1000	1360	
60 × 5	690	1200	1600	2110	670	1160	1520	2140
80 × 5	900	1570	2180	2770	850	1420	1700	2480
100 × 5	1120	1930	2700	3420	1020	1600	1940	2870
40 × 10	690	1200	1670	2130	690	1200	1670	2250
50 × 10	840	1460	2040	2600	850	1450	2000	2720
60 × 10	1000	1720	2400	3050	990	1700	2300	3150
80 × 10	1300	2250	3130	4000	1260	2100	2760	3850
100 × 10	1600	2780	3850	4900	1570	2500	3200	4550





damals geringer war. Als Leiterwerkstoff wird jetzt ausschließlich Aluminium mit 99,5 bis 99,8% Reinheitsgrad verwendet. Bei sachgemäßer Behandlung der Verbindungsstellen bewähren sich Aluminium und Magnesium ebensogut wie Kupfer.

Schraubverbindungen für Al-Schienen.

Die hauptsächlichsten Anordnungen der Schraubverbindungen von Flachschienen aus Aluminium sind aus Tafel 13 zu ersehen. Sie gelten sowohl für die Verbindung von Aluminium mit Aluminium als auch für die Verbindung von Aluminium und Kupfer. Hierbei ist, entgegen früherer Ansicht, von der Verwendung einer Cupal-Zwischenlage abzusehen.

Für eine derartige Schraubverbindung gilt ganz allgemein: Bei einer bzw. vier Schrauben wird die Überlappungslänge gleich der Schienenbreite, bei zwei Schrauben etwa gleich 1,25 mal der Schienenbreite gemacht.

Größe und Zahl der Schrauben sind so festgelegt, daß der zweckmäßige Flächendruck von 50 kg/cm² beim Gebrauch eines normalen Schraubenschlüssels (d. h. ohne irgendeine Schraubenschlüsselverlängerung) einwandfrei erzielt wird. Es sind walzharte Al-Schienen und Stahlschrauben höherer Festigkeit (z. B. Durbus) zu verwenden, die auf Tafel 13 zusammengestellt sind.

Zweckmäßig wählt man geschwärzte Schrauben. Die Verbindungen mit **einer** Schraube sind bequem und im allgemeinen ausreichend, aber gegen Drehbeanspruchung um die Schraubenachse empfindlich; gegebenenfalls sind die Verbindungen mit **zwei** Schrauben vorzuziehen.

Bei Wechselstrom muß zwischen den einzelnen Unterlegscheiben ein Abstand von mindestens 4 mm verbleiben; sonst besteht infolge des magnetischen Kreises die Gefahr einer unzulässigen Erwärmung durch Wirbelströme. Um ein Nachlassen des Kontaktdruckes infolge Ausweichens des Aluminiums zu verhindern, sind neben der Anwendung größerer Unterlegscheiben Federringe zwischen Schraubenkopf bzw. Mutter und Unterlegscheibe zu legen, wodurch die Klemmung nachfedernd wirkt (Bild 49).

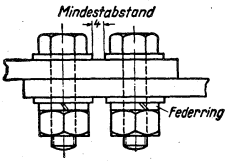


Bild 49. Anordnung der Unterlegscheiben und Federringe bei Flachschienen-Schraubverbindungen.

Für die Ausführung der Schraubverbindungen ist zu beachten: Die Löcher für die Schrauben sind zu bohren und nicht zu stanzen. Zur Bearbeitung von Aluminium-Flachschienen dürfen nur für Aluminium geeignete Werkzeuge, die vorher für anderes Metall noch nicht benutzt worden sind, verwendet werden. Die Berührungsflächen sind mittels Vor- und Aluminiumfeilen abzuziehen und sofort mit einem dünnen Überzug aus reinem Vaselin zu versehen. Unmittelbar vor dem Zusammenschrauben reinigt man die Kontaktflächen zweckmäßig noch einmal mit einer sauberen Drahtbürste. Die Verwendung von Schmirgelleinwand oder Glaspapier ist zu vermeiden. Die Schrauben sind nach etwa acht Tagen möglichst bei betriebswarmer Schiene noch einmal nachzuziehen. Danach sind die Verbindungsstellen, vor allem beim Übergang von Aluminium auf Kupfer, zum Schutz gegen Anfressungen außen mit einem dauerhaften Lackanstrich an den Fugen sofort abzudichten. Ein Anstrich der Schienen auf ihrem ganzen Verlauf begünstigt die Wärmeabstrahlung, d. h. die angestrichenen Schienen bleiben kühler als blanke Schienen.

Nur die Köpfe der Stahlschrauben dürfen mit temperaturanzeigenden Heißanlauffarben gestrichen werden, die dann eine schädliche Erwärmung der Schraubstelle anzeigen. Obwohl die Übergangswiderstände bei einer sachgemäß ausgeführten Al-Schraubverbindung etwa zwei- bis viermal so groß, bei einer Mg-Verbindung etwa vier- bis sechsmal so groß als bei einer Kupferverbindung sind, bleibt die Erwärmung der Kontaktstellen bei Dauernennlast in zulässigen Grenzen, insbesondere dann, wenn die Wärmeabstrahlung, wie oben erwähnt, durch einen Farbanstrich unterstützt wird.

Schweißverbindungen für Al-Schienen.

Die für den Stromübergang einer Schienenstoßstelle günstigste Verbindung ist die Schweißverbindung der Al-Schienen.

Die zu verbindenden Flachschienen sind durch Abziehen mit einer Aluminiumfeile von der Oxydschicht oder von einem etwa vorhandenen fremdmetallischen Überzug zu säubern. Die Stirnflächen der Flachschienen werden mit einer Feile zu einem V-, Y- oder X-Stoß abgeschrägt (von 5 bis 8 mm Schienendicke V-Stoß, darüber Y- oder X-Stoß) (Bild 50). Man legt die beiden Flachschienen auf ein dünnes Eisenblech mit Abstand gegenüber, bringt zur seitlichen Begrenzung der Schweißstelle Winkeleisen an und legt das Ganze auf eine Asbestunterlage (Bild 50a).

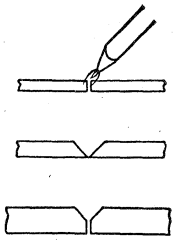


Bild 50. Verschiedene Schienenstöße für Schweißverbindungen.

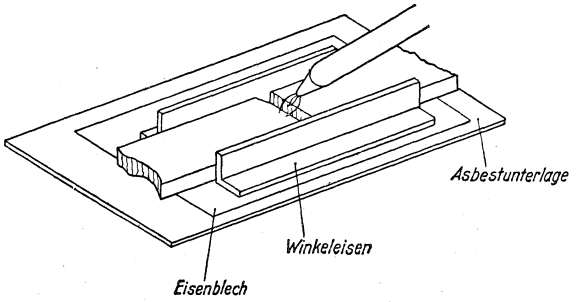


Bild 50a. Vorrichtung zum Schweißen von Al-Schienen.

Vor dem Schweißen muß die Schweißstelle gut vorgewärmt werden. Man erhitzt deshalb eine Zone von 100 bis 150 mm rechts und links von der Naht auf etwa 450° C. Ein Holzspan, mit dem man die erwärmte Stelle bestreicht, muß bei der richtigen Temperatur einen schwarzen Strich hinterlassen. Während des Schweißens ist bei schweren Schienen über 10 mm Stärke das Vorwärmen mit einer zweiten Wärmequelle (Lötlampe) fortzusetzen. Mit einem Schweißbrenner wird so lange erhitzt, bis das Aluminium an der Verbindungsstelle schmilzt. Zusätzlich wird ein mit Flußmittel (Firinit-Supra) bestrichener, im Durchmesser der Schienendicke entsprechender Al-Schmelzdraht verschmolzen und mit ihm gleichzeitig die Schmelze gut umgerührt, um die Oxydhaut zu zerstören. Hierauf läßt man die Schweißstelle abkühlen und reinigt sie anschließend von Flußmittelresten und etwa überschüssiger Schweiße. Zuverlässige Schweißverbindungen setzen ausreichende Übung der Schweißer voraus. (Weitere Einzelheiten über Al-Schweißung siehe Abschnitt „Leitungen".)

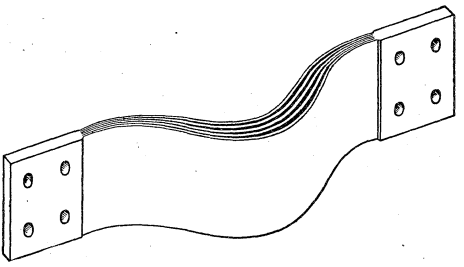


Bild 50b. Biegsamer Verbinder für Al-Schienen.

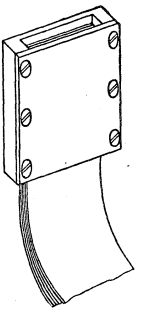


Bild 50c. Schmelzform für Verbinder nach Bild 50b.

Die Wärmeausdehnung von längeren Schienen, sowie die Anschlüsse an Geräte für hohe Stromstärken, macht die Einschaltung biegsamer Bänder aus Aluminiumfolie notwendig (Bild 50b). Diese werden aus federhartem Blech von 0,5 bis 1 mm Stärke dem Querschnitt der Schiene entsprechend übereinandergeschichtet und die Enden zu einem Massivleiter verschmolzen (Bild 54).

Schienen aus Magnesium.

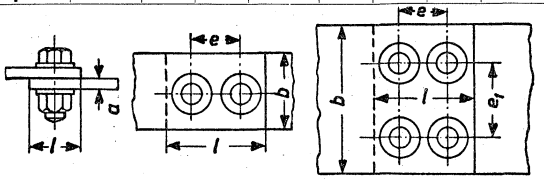
Das **Schweißen** von Schienen aus Magnesium oder Magnesiumlegierungen sowie deren Verschraubungen erfolgt in ähnlicher Weise wie bei Aluminiumschienen.

Die Schienen werden beim Schweißen an den Stoßkanten durch V- oder X-förmige Abschrägung vorbereitet, dabei ist es wichtig, die Abschrägung etwa im Winkel von 40 bis 45° zu halten. Ist die Abschrägung steiler, so gelingt es dem Schweißer nicht, den ganzen Schienenquerschnitt mit der Flamme niederzuschmelzen, er schweißt also nicht durch und muß die Unterseite in einem zweiten Arbeitsgang nachschweißen, wobei leicht Flußmittelreste in der Naht eingeschlossen werden. Ist die Abschrägung zu flach, so ist im Grunde der V-Naht das Material sehr schwach und wird beim Schweißen leicht örtlich durchgeschmolzen. Die dadurch entstandenen Löcher sind schwierig

Tafel 15. Magnesium-Leitungsschienen.

Genormte Flachschienen mit Schraubenverbindungen.

Magnesium-Flachschienen			Verbindungsstellen										
				Anzahl, Größe und Anordnung der Schrauben aus St 50 . 11[3])									
				1 Schraube		2 Schrauben			4 Schrauben[1])				
Breite × Dicke b × a	Querschnitt q = ab	Gewicht	Schraubendruck[2])	Überlappung	Größe	Überlappung	Abstand	Größe	Überlappung	Abstand e	Abstand e_1	Größe	
mm	mm²	kg/m	kg	mm		L mm	e mm		L mm	mm	mm		
50 × 10	500	0,870	1 050	42	¾"	62	32	½"	50	26	26	M 10	
60 × 10	600	1,044	1 500	50	⅞"	75	38	⅝"	60	32	32	½"	
80 × 10	800	1,392	2 500	62	1⅛"	90	45	¾"	75	38	40	⅝"	
100 × 10	1000	1,740	4 500	—	—	—	—	—	90	45	50	¾"	
120 × 10	1200	2,088	6 000	—	—	—	—	—	100	50	60	⅞"	
160 × 10	1600	2,784	9 600	—	—	—	—	—	120	60	80	1"	
200 × 10	2000	3,480	15 000	—	—	—	—	—	150	72	100	1⅜"	
100 × 15	1500	2,610	4 500	—	—	—	—	—	90	45	50	¾"	
120 × 15	1800	3,132	6 000	—	—	—	—	—	100	50	60	⅞"	
160 × 15	2400	4,176	9 600	—	—	—	—	—	120	60	80	1"	
200 × 15	3000	5,220	15 000	—	—	—	—	—	150	72	100	1⅜"	



[1]) Bei rechtwinkligem Anschluß der Schienen sind die Schraubenlöcher im allgemeinen quadratisch anzuordnen; dann wird e auf e_1 vergrößert.

[2]) Der Flächendruck beträgt zweckmäßig etwa 50 kg/cm² (Schraubenlöcher als Druckfläche mitgerechnet). Bei zu geringem Druck kann der Übergangswiderstand und damit die Erwärmung im Laufe der Zeit stark ansteigen; das allmähliche Wegquetschen des Magnesiums ist im Gegensatz zu Aluminium nicht zu befürchten.

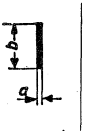
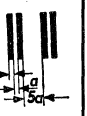
[3]) Schraubenwerkstoff nach DIN 266. Für St 50 . 11 z. B. Durbus-Schrauben mit 55 bis 65 kg/mm² Festigkeit verwenden.

Werkstoff für Schienen: Mg 99,9, gepreßt, mit Toleranzen nach DIN 1770. Die Schienen sind bichromatisiert zu beziehen und mit geeigneten Farben anzustreichen.

auszufüllen, die Naht wird stark verbreitert und ist auf der Unterseite nicht angeflossen, sondern klecksartig durchgelaufen.

Als Schienenunterlage dienen beim Schweißen Stoffe mit schlechter Wärmeleitfähigkeit, wie Asbest oder Schamotte. Die Schweißstelle liegt zweckmäßig hohl, es müssen also zwei Asbeststücke von 3 oder 4 mm Dicke so untergelegt werden, daß die Naht frei bleibt. Auch ein mit einer 3 bis 4 mm tiefen Querrille versehener Schamottestein oder ein entsprechend geformtes dünneres Stahlblech können als Unterlagen dienen. Das letztere läßt sich so ausbilden, daß es gleichzeitig als Klemme wirkt, die die beiden Schienen zusammenhält und die Schweißstelle seitlich begrenzt. Als Flußmittel sind Elektrogal oder Firinit für Magnesiumschweißung in gleichem Maße brauchbar. Die mit Wasser angerührten Flußmittel werden zweckmäßig nur auf den Schweißstab aufgestrichen. Während des ganzen Schweißvorganges ist diese Flußmitteldecke auf der Schmelze gegebenenfalls durch Nachstreichen zu erhalten, um den Zutritt der Luft zum flüssigen Metall zu unterbinden. Tritt eine Unterbrechung der Flußmitteldecke ein, so bilden sich schwarze Oxyde und Schlacken, die sich in der Flamme entzünden und unter Rauchbildung schwelend verbrennen. Während des Schweißens wird ein solcher Herd meist glimmend erhalten, er breitet sich aus und es entsteht eine große Fehlstelle, die herausgeschnitten werden muß. Wird dagegen

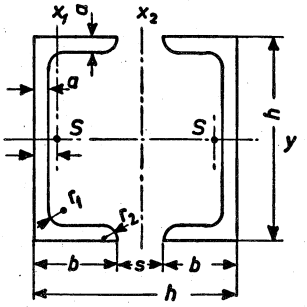
Tafel 16. Magnesium-Leitungsschienen

Zulässige Dauer-Gleichstrom-Belastung für angestrichene Flachschienen					Zulässig. Dauer-Wechselstrom-Belastung (50 Hz) für angestrichene Flachschienen		
Abmessungen in mm b × a	Querschnitt in mm² q	Dauer-Stromstärke in A bei Erwärmung um 30°					
		Anzahl der Schienen			Anzahl der Schienen[1])		
		I Schiene	II Schienen	III Schienen	I Schiene	II Schienen	IV Schienen
							
50 × 10	500	700	1200	1720	650	1150	2150
60 × 10	600	825	1400	2000	750	1275	2380
80 × 10	800	1060	1775	2550	950	1600	2960
100 × 10	1000	1300	2200	3100	1150	1875	3480
120 × 10	1200	1500	2550	3600	1350	2125	3900
160 × 10	1600	1950	3350	4650	1700	2600	4700
200 × 10	2000	2400	4075	5650	2075	3025	5400
100 × 15	1500	1600	2750	3900	1425	2250	4100
120 × 15	1800	1850	3250	4500	1650	2575	4700
160 × 15	2400	2350	4050	5650	2100	3100	5600
200 × 15	3000	2900	4900	6900	2550	3675	6600

[1]) Wegen Stromverdrängung bei dichter Anordnung erhalten die zweite und dritte Schiene durch Zwischenstücke einen Abstand von 5a. Hierdurch wird gleichzeitig die Abkühlung verbessert. Bei drei Schienen wird das Metall der Schienen verhältnismäßig schlecht ausgenutzt. Wenn zwei Schienen nicht reichen, sind daher möglichst vier Schienen zu wählen.

der Schweißvorgang unterbrochen und die Brandstelle mittels Graugußspänen erstickt, so gelingt es einem geschickten Schweißer auch auf der unsauberen Grundlage noch eine brauchbare Schweißung aufzubauen. Er geht dabei zweckmäßig so vor, daß er die Flamme steil hält und damit das Magnesium vor der Brandstelle abschmilzt, ohne die Schlacke selbst zu bestreichen. Das Abschmelzen setzt sich dann auch unter

Tafel 17. Magnesium-U-Profile. Abmessungen und statische Werte.



S = Schwerpunkt des Einzelprofils
s = Lücke bei quadratischer Anordnung
q = Querschnitt
G = Gewicht in kg/m
J = Trägheitsmoment
W = Widerstandsmoment

Beispiel: Bezeichnung einer U-Schiene Profil Nr. U 14 von 2500 mm Länge
Schiene U 14 × 2500

Profil-Nr.	h mm	b mm	a mm	r_1 mm	r_2 mm	s[1]) mm	e mm	q mm²	G kg/m
U 12	120 ± 1	45,0±0,45	10±0,25	10	8	30	13,6	1915±63	3,332 ± 0,110
U 14	140±1	52,5 ± 0,52	11±0,28	11	9	35	15,25	2470±80	4,298 ± 0,140
U 16	160±1	60,0±0,60	12±0,30	12	10	40	17,25	3090 ± 98	5,377±0,180
U 18	180±1	67,5±0,68	13±0,32	13	11	45	19,25	3780±113	6,577±0,200
U 20	200 ± 1	75,0±0,75	14±0,35	14	12	50	21,2	4530±138	7,882±0,240

Profil-Nr.	Statische Werte für Einzelschienen				Doppelschienen			
	J_{x1} cm⁴	J_{y1} cm⁴	W_{x1} cm³	W_{y1} cm³	J_{x2} cm⁴	J_{y2} cm⁴	W_{x2} cm³	W_{y2} cm³
U 12	30,5	357	10,5	59,7	1118	714	186	119,4
U 14	54,15	726	15,5	90,5	1618	1452	231	181,0
U 16	89,22	1035	22	130,5	2675	2070	334	261,0
U 18	138,9	1620	30,5	180	4160	3240	462	360
U 20	207	2410	41	241	6182	4820	618	482

[1]) Jx_2 und Wx_2 sind auf die senkrechte Symmetrieachse X_2 bezogen und gelten nur bei biegungssteifer Verbindung beider Schienen zu einem einheitlichen Träger. Elastizitätsmodul E von Reinmagnesium (bei 20° C) 4500 kg/mm² bei kleiner Beanspruchung.

Werkstoff: Reinmagnesium Mg 99,9; elektr. Leitfähigkeit bei 20°C mind. 22 m/Ω mm².

Lieferform: Gepreßt als Stäbe in Herstellungslänge (meist 7 m, mindestens 4 m) oder in festen Längen, sorgfältig gerichtet; Oberfläche bichromatisiert.

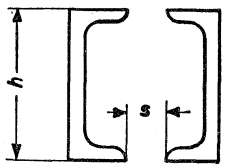
der Schlacke fort, diese schwimmt somit auf der Schmelze und kann mit dem Schweißstab entfernt werden. Hält der Schweißer den Brenner flach, so trifft die Flamme das Metall vor der Schlackenstelle, gleichzeitig aber diese selbst und die Fehlstelle, die er herausbringen wollte, bildet sich erneut. Da beim Schweißen von Magnesium mit kleinen örtlichen Entzündungen immer zu rechnen ist, sollte jeder Schweißer zu seinem Arbeitsgerät eine Blechbüchse mit Graugußspänen erhalten.

Als Zusatzstoff kommen handelsübliche Schweißdrähte aus Reinmagnesium oder Schienenabschnitte in Frage. Für die Schweißflamme kann ein Wasserstoff-Sauerstoff-Gasgemisch benutzt werden; mehr Anwendung findet ein Sauerstoff-Azethylen-Gasgemisch, und zwar wird stets mit einem reduzierenden Gasüberschuß gearbeitet, um Oxyde, Schlackenbildung und Brand zu verhindern.

Vor der Ausführung der Schweißung wird die Verbindungsstelle in einem gewissen Umfange auf etwa 400° vorgewärmt. Danach erfolgt der Aufbau der Schweißstelle in der Weise, daß man den Grund des V-Kerbes möglichst ohne Materialzusatz zusammenschweißt und darauf die Schweiße durch eine oder zwei Auflagen aufbaut. Man beginnt dabei am Anfang der Naht und schweißt ohne Unterbrechung durch. Beim Anschmelzen ist die Brennerstellung flach zu halten, um den Übergang von der Schienenvorderkante zur Naht zu erzielen, dagegen ist beim Auslauf der Naht der Brenner steiler zu halten, damit die Schmelze nicht durch den Flammendruck auseinanderläuft und sich infolge von Luftzutritt entzündet. Langes örtliches Erwärmen kann zur Zerstörung des Flußmittels und dadurch zur Überhitzung und Oxydation des Magnesiums und schließlich zu Brandstellen führen. Es ist ferner darauf zu achten, daß mit der kreisenden Flamme Schweißnaht und Zusatzdraht gleichzeitig zum Fluß gebracht werden und nicht der Zusatzwerkstoff aus einer gewissen Höhe in die Schmelze hineintropft, wodurch dann eine Oxydanreicherung in der letzteren nicht zu vermeiden ist.

Flußmittelschlacken dürfen beim Aufbau der Schweißnaht nicht eingeschlossen, sondern müssen herausgeschmolzen werden, so daß jede neue Schmelzschicht auf einer metallisch sauberen Grundlage aufgetragen wird. Bei der X-Naht werden auch die zusammenstoßenden Mittelspitzen zuerst verbunden und danach die Schweißung in der beschriebenen Weise nach oben und unten aufgebaut. Das Schweißen der Oberseite läßt sich durch Einlegen eines Rundeisens erleichtern. Nach Beendigung der Schweißung müssen Flußmittelreste durch Reinigung mit Wasser und Drahtbürste entfernt werden. Die Schweißstelle ist möglichst etwas zu überhöhen und die Raupe nachträglich abzuarbeiten, wenn man eine von Poren und Vertiefungen freie Verbindungsstelle erhalten will. Zum Schluß wird die fertige Schweißstelle mit Bichromatbeize gebeizt. Diese besteht aus 10- bis 20prozentiger Salpetersäurelösung, die etwa 15% Kaliumbichromat enthält.

Tafel 18. Magnesium-U-Profile. Dauer-Wechselstrom-Belastung.



Profil Nr.	Höhe h	Querschnitt q beider Profile	Gewicht beider Profile	Zulässiger Dauerstrom	Spalt s
	mm	mm²	kg/m	A	mm
2 × U 12	120	3830±125	6,66±0,23	3500	30
2 × U 14	140	4940±160	8,60±0,30	4300	35
2 × U 16	160	6180±200	10,76±0,36	5150	40
2 × U 18	180	7560±225	13,16±0,43	6050	45
2 × U 20	200	9060±275	15,42±0,52	7000	50

Die angegebenen Werte für den Spalt s zwischen den beiden U-Schienen eines Leiters ergeben quadratische Umrandung des Leiters, reichliche Lüftung der Innenflächen und ausreichenden Raum für die Montage. Wenn besondere Gründe vorliegen, kann s bis auf 25 mm bei allen Profilen verringert werden.

Magnesiumstromschienen werden nur im bichromatisierten Zustande geliefert, sie sind aber dennoch stets mit einem Schutzlack zu streichen. Die Lackschicht verbessert nicht nur die Korrosionsbeständigkeit, sondern auch die Wärmeabgabe des Magnesiums, wodurch wie bei Aluminium die elektrische Belastbarkeit der Stromschienen gesteigert wird. Für Magnesium-Sammelschienen dürfen zum Anstrich nur Sonderlacke verwendet werden, weil die für Stahl und Aluminium üblichen Lacke bei Magnesium zu Korrosionsschäden führen können. Diese Sonderlacke haben die vorteilhafte Eigenschaft, auch auf nicht sehr sorgfältig entfetteter Oberfläche gut zu haften. Für das Auftragen dieser Lacke sind folgende Arbeitsweisen zu beachten:

1. Reinigen. Die Oberflächen müssen vor dem Lackieren gesäubert und bei starker Verunreinigung mit Öl und Fett auch entfettet werden. Ist die Oberfläche nur wenig fettig, so genügt Abreiben mit weichem Papier. Die gefetteten Kontaktstellen selbst sind vor dem Zusammenbau durch Abwischen mit weichem Papier vom Überschuß des Fettungsmittels zu befreien.

2. Lackieren. Die Kennfarben tragen die AEG-Nummern: violetter Lack Nr. 106, gelb Nr. 1242, grün 1243, rot 1244, blau 1055, weiß 1258, schwarz 1259, grau 1260. Die Farben können durch Spritzen oder Streichen aufgetragen werden; sie sind lufttrocknend, die Trocknung erfordert 24 Stunden.

Das **Biegen** von Mg-Schienen ist nur bei Temperaturen zwischen 280 bis 350° durchzuführen. Zur Prüfung dieser Temperatur kann Kernseife verwendet werden, die sich beim Bestreichen bei 300° braun färbt, es genügt aber auch das Andrücken z. B. von Zeitungspapier, das bei dieser Erwärmung leicht verkohlt und eine braune Farbe annimmt. Da Magnesium sehr kerbempfindlich ist, muß das Biegen trotz der Erwärmung sehr vorsichtig geschehen und der Biegehalbmesser für 10 mm starke Schienen etwa 25 mm, für 15-mm-Schienen etwa 40 mm, also etwa das Dreifache der Schienendicke, betragen. Dabei ist darauf zu achten, daß auf der gestreckten Schienenseite keine Haarrisse entstehen, die Brüche einleiten können.

Für die **Bearbeitung** von Magnesium bestehen besondere Vorschriften, die sich auf die Feuergefährlichkeit von Magnesiumspänen und -staub beziehen, während massige Stücke nicht zündbar sind. Die Ablagerung von Mg-Staub muß nach Möglichkeit vermieden werden (glatte Wände, fugenloser Fußboden usw., Schutzkleidung aus dichtem, glattem Stoff ohne Taschen, die mit einem Feuerschutzmittel getränkt sein muß). Das Rauchverbot ist streng durchzuführen. Bearbeitungsmaschinen sowie die Arbeitskleidung sind halbstündlich von Staub zu säubern. Als Feuerlöschmittel sind nur trockene Graugußspäne oder trockener Sand zu verwenden. Alle anderen Löschmittel sind verboten. Jeder Arbeitsraum ist mit einem Warnungsschild zu versehen.

Genauere Vorschriften sind durch die AEG beziehen.

Kennfarben.

Die blanken Leitungen werden in Schaltanlagen nicht nur zur Unterscheidung der Leiter, sondern, wie bereits erwähnt, auch wegen der besseren Wärmeableitung der ganzen Länge nach mit farbigem Anstrich versehen. Die Farben sind nach DIN VDE Blatt 705 zu wählen, und zwar für:

Gleichstrom	+	rot
	—	blau
Drehstrom	Phase 1 R	gelb
	Phase 2 S	grün
	Phase 3 T	violett (veil)
Wechselstrom	Phase R	gelb
	Phase T	violett (veil)

Die geerdeten Leiter von Gs, Ds oder Ws, sowie alle geerdeten Nulleiter sind weiß, hellgrau oder schwarz, mit grünen Strichen zu streichen, je nach der Farbe der angrenzenden Fläche.

In Räumen, in welchen blanke Leitungen der Einwirkung chemischer Dämpfe ausgesetzt sind, z. B. Akkumulatorenräume usw., ist der Anstrich mit Emaillelack zu empfehlen.

Kabelverlegung.

In Schaltanlagen kleineren und mittleren Umfanges werden Kabel in etwa 25—30 cm tiefen, im Fußboden eingelassenen Kabelkanälen verlegt, die mit Riffelblech oder Betonplatten abgedeckt sind. Dabei soll zwischen den Kabeln mit einem lichten Abstand von etwa 3 cm gerechnet werden. Mit Rücksicht auf die Abdeckung soll die Kanalbreite von 1 m nicht überschritten werden. Bei größerer Kabelanzahl ist der Kanal durch einen gemauerten oder betonierten Längssteg zu unterteilen. Bei größeren Schaltanlagen sieht man begehbare Kabelkanäle oder Kabelkeller vor. In diesen erfolgt die Kabelverlegung auf Kabelträgern oder Kabelbrücken. Im Freien werden die Kabel in Gräben, etwa 70 bis 80 cm tief, verlegt, in Sand gebettet und mit Form- oder Ziegelsteinen abgedeckt. Die Einführung in Gebäude erfolgt durch Betonrohre mit Neigung ins Freie. Die Juteumspinnung muß laut VDE-Vorschrift innerhalb von Gebäuden wegen Brandgefahr von den Kabeln entfernt werden; die Eisenarmierung ist durch einen Anstrich mit Eisenlack gegen Rost zu schützen. Weiteres über Kabelverlegung und Kabelverarbeitung siehe Abschnitt „Verlegung von Bleikabeln".

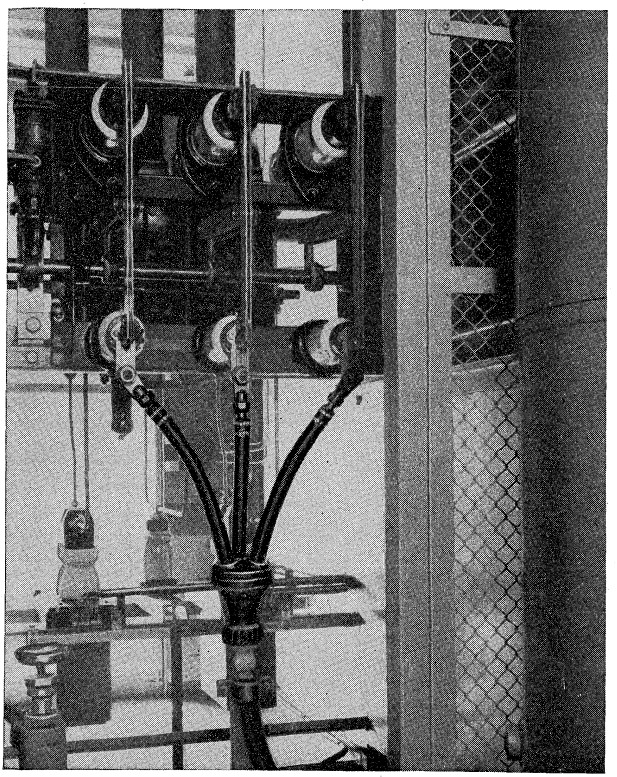


Bild 51. Isokleinendverschluß.

Kabelendverschlüsse für Schaltanlagen.

Im Zuge der Bestrebungen zur Einschränkung von brennbaren Isolierstoffen beim Bau von Schaltanlagen hat die AEG Endverschlüsse entwickelt, die diesen Forderungen entsprechen und sich darin von den sonst üblichen Ausführungen unterscheiden (s. Abschnitt „Verlegung von Bleikabeln".)

Für Innenräume werden bis 15 kV und für Querschnitte bis 400 mm² sogenannte **Isokleinendverschlüsse** (Endverschlüsse mit Isolierstoffgehäuse) für Ein- und Mehrleiterkabel ausgeführt (Bild 51). Bei diesen öl- und zugleich druckfesten Kleinendverschlüssen wird der Abschluß der Kabeladern durch entsprechende Isolierhüllen erzielt, die aus druckfesten, mit einem ölfesten Überzug geschützten Schläuchen bestehen. Durch diesen Schlauchverschluß bleibt die Biegsamkeit der Adern erhalten,

so daß eine große Anpassungsfähigkeit beim Anschluß erreicht wird. Das Isoliergehäuse ist so klein wie möglich bemessen und faßt nur soviel Kabelmasse als nötig ist, um die Adern einzeln öldicht abzuschließen. Die Abdichtung gegen den Bleimantel kann mittels Löt- oder Stopfbuchse durchgeführt werden, wie aus Bild 52 a und b zu entnehmen ist, das auch die Art des Anbaues des Endverschlusses an das Kabel erkennen läßt.

Das Kabel wird, wie in den Bildern im Abschnitt „Verlegung von Bleikabeln" dargestellt, abgesetzt und das Gehäuse übergeschoben und angepaßt. Bei der Ausführung mit Lötbuchse ist diese nun mit dem Bleimantel durch eine saubere Schmierwulst zu verlöten (nicht gießen). Vor dem Verlöten wird das Gehäuse und die Dichtscheibe entfernt und der Gewindering mittels eines Asbestbandes hochgehalten. Der Endverschluß wird hierauf mit den Schläuchen vorläufig zusammengeschraubt, wobei — falls erforderlich — Adern und Schläuche auf Länge geschnitten und die Anschlußteile (Kabelschuhe und Anschlußenden) angepaßt werden. Für Kabel mit Cu-Leitern werden Messingkabelschuhe und Cu-Rohre mit Schlauchtüllen verwendet, die weich aufgelötet werden (Bild 53), für Al-Leiter kommen Großflächenkabelschuhe aus Al oder solche mit Cu-Auge, beide mit angeflanschter Schlauchtülle oder Al-Cu-Anschlußenden zur Verwendung, über deren Verschweißung mit dem Leiter Näheres im Abschnitt „Anschlüsse bei Aluminium-Leitern" angegeben ist.

Das Ausgießen des Kabelschuhes erfolgt unter Benutzung des Füllrohres. Bei Spannungen bis 3 kV wird bis zur Füllöffnung eingefüllt, bei höheren Spannungen muß die Masse noch 80 mm in die Schläuche steigen; hierzu muß bei Verwendung des Cu-Rohres ein Knebel zwischen Schlauchtülle und Schlauch geschoben werden. Bei den übrigen Ausführungen des Anschlusses

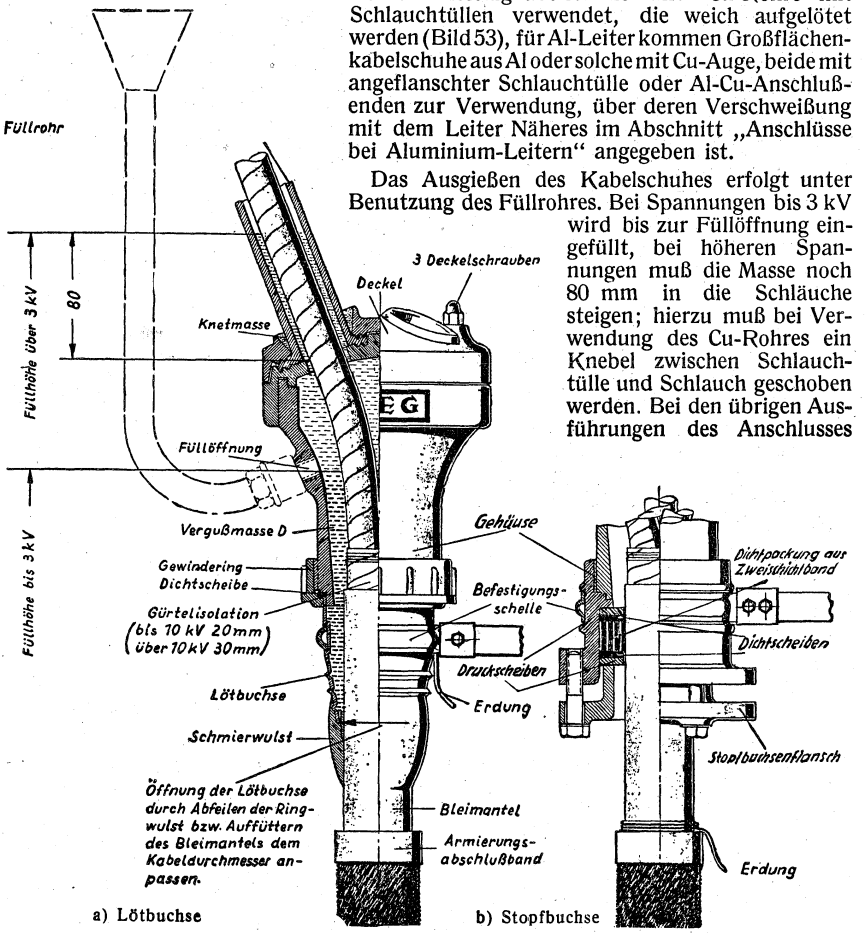


Bild 52. Einzelheiten zum Isokleinendverschluß bis 15 kV für Dreileiterkabel.

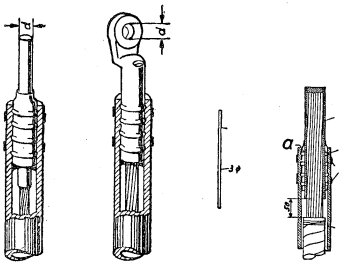


Bild 53. Anschlüsse zum Isokleinendverschluß.

genügt es, darauf zu achten, daß die Dichtungen nicht angezogen sind, damit die Luft beim Vergießen aus dem Endverschluß und den Schläuchen entweichen kann. Das Abbinden der Schläuche erfolgt durch je zwei Schlauchbinder. Die Isolierschläuche werden eingefettet angeliefert. Die Fettschicht ist mittels weichen Papiers zu entfernen, wobei die Ölschutzschicht der Schläuche nicht beschädigt werden darf.

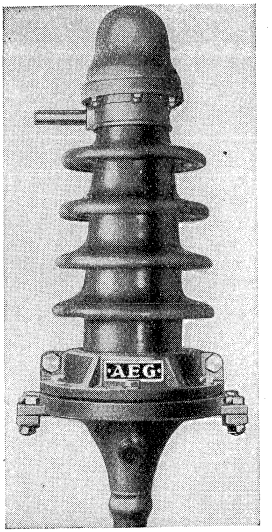


Bild 54. Kittloser Einleiterendverschluß.

In Fällen, wo an die Widerstandsfähigkeit der Isolierhüllen besonders hohe Anforderungen gestellt werden, insbesondere bei Endverschlüssen für Freiluftanlagen, kommen **kittlose Endverschlüsse** mit Porzellanisolatoren zur Anwendung. Diese werden als Einleiterendverschlüsse

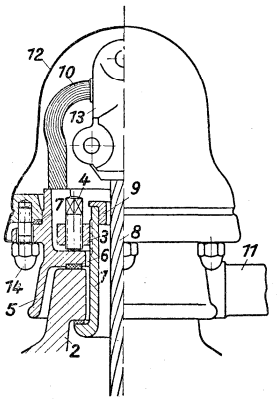


Bild 55.

1 = Buchse
2 = Isolator
3 = Gewindering
4 = Druckschrauben
5 = Anschlußring
6 = Dichtungsscheibe
7 = Dichtungsring
8 = Kabelleiter
9 = Zentrierbuchse
10 = Biegsame Litze
11 = Anschlußbolzen
12 = Regenkappe
13 = Anschlußklemme für den Leiter
14 = Befestigungsschraube für die Regenkappe

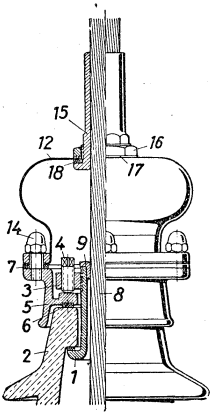


Bild 56.

1 = Buchse
2 = Isolator
3 = Gewindering
4 = Druckschrauben
5 = Zwischenstück
6 = Dichtungsring
7 = Dichtung
8 = Kupferleiter
9 = Zentrierring
12 = Elast. Abschlußkappe
14 = Druckschrauben
15 = Durchführungsbuchse
16 = Überwurfmutter
17 = Unterlegscheiben
18 = Dichtung

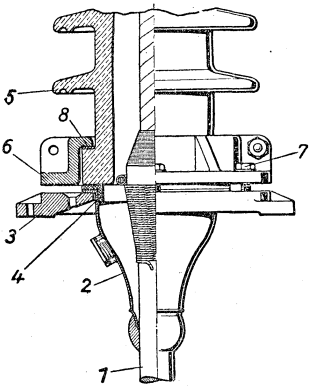


Bild 57.

1 = Bleimantel
2 = Gehäuse
3 = Flansch
4 = Dichtungsring
5 = Isolator
6 = Druckring
7 = Druckschrauben
8 = Gewelltes Kupferblech

Bild 55. Kopf eines Endverschlusses fürs Freie, kittlos.

Bild 56. Kopf eines Endverschlusses für Innenräume, kittlos.

Bild 57. Kittlose Abdichtung des Porzellankörpers geg. das Gehäuse.

ausgeführt (Bild 54). Da bei den hierbei zu stellenden hohen Anforderungen eine dauernd zuverlässige Abdichtung gegen Öl und Luftfeuchtigkeit besonders gewährleistet sein muß, wurde auf die Verwendung eines Kittes zur Abdichtung zwischen Metall und Isolator verzichtet. Die Konstruktion des Kopfes für einen kittlosen Einleiterendverschluß für Außenmontage ist in Bild 55 dargestellt.

Bild 56 zeigt den kittlosen Kopf eines Einleiterendverschlusses für Innenräume mit durchgeführtem Kabelleiter. Dieser wird mit den Anschlußbolzen verlötet.

Die Abdichtung des Porzellankörpers gegen das Gehäuse erfolgt ebenfalls kittlos durch eine ölbeständige Dichtungsscheibe zwischen Isolator und Metall (Bild 57).

Aluminium-Kupfer-Anschlußteile wurden von der AEG entwickelt, um den Übergang von Aluminiumkabel auf Kupfer oder Messingteile einwandfrei herzustellen. Die Verbindung Aluminium-Kupfer wird in Form von Verbundkörpern erzeugt. Sie ist eine im Kokillengußverfahren gewonnene, innige Schmelzverbindung. Je nach der Art des Verwendungszweckes werden die Aluminium-Kupfer-Anschlußteile als Aluminiumkabelschuhe mit Kupferanschlußauge oder als Aluminiumanschweißende mit Kupferanschlußstab ausgebildet. Beide Anschlußteile werden durch einfache Aluminiumschweißung mit dem Kabelleiter verbunden. Im Abschnitt „Anschlüsse bei Aluminiumleitern" werden einige Ausführungsformen und Anwendungsbeispiele gezeigt.

Meß-, Steuer- und Signalleitungen.

Die Verlegung von Meß-, Steuer- und Signalleitungen in Schaltanlagen ist eine der wichtigsten Arbeiten im Schaltanlagenbau, die mit ganz besonderer Sorgfalt ausgeführt werden muß, da Schlüsse in Steuerleitungen zu schweren Störungen des Betriebes führen können.

Kurze Leitungen innerhalb der Zellen von Schaltanlagen bis etwa Reihe 30, werden als Gummiaderleitungen (NGA) in Stahlpanzer- oder Isolierrohr übersichtlich auf den Zellenwänden verlegt, derart, daß Lichtbögen, die an Schaltgeräten möglicherweise auftreten können, die Meßleitungen nicht gefährden. Zu beachten ist, daß horizontal verlaufende Rohre mit Gefälle verlegt werden, damit sich Kondenswasser nicht ansammeln kann. Rohre unter 16 mm sollen nicht verwendet werden. Das gewaltsame Einzwängen mehrerer Drähte in einem zu kleinen Rohrquerschnitt ist zu vermeiden (Abschn. „Leitungen"). Zur Schonung der Isolation ist beim Einziehen der Drähte Talkum als Gleitmittel zu verwenden. Würg- und Lötstellen dürfen innerhalb der Rohre nicht vorkommen. Gleich beim Einziehen soll jeder Leitungsdraht am Anfang und Ende gleichnamig bezeichnet oder beziffert werden, auch wenn Drähte mit farbigen Kennfäden Verwendung finden. Nach der Verlegung ist der Isolationszustand der Leitungen zu prüfen, der Isolationswert soll etwa 5 Megohm betragen.

Gemeinsame Steuer- und Meßleitungen für mehrere Zellen sind unbedingt außerhalb der Hochspannungszellen z. B. in Kabelkanälen zu verlegen.

Die in Rohr geführten Leitungen verbinden die Niederspannungsklemmen von Meßwandlern, ferner die Klemmen von Auslösespulen oder Signalkontakten usw. mit Reihen- bzw. Prüfklemmen, die außerhalb des Hochspannungsbereiches auf der Hochspannungs-Schaltwand für jede Zelle angeordnet werden (Bild 58). Die Klemmen sind für Prüfzwecke während des Betriebes wichtig und müssen deshalb leicht zugänglich sein.

Von diesen Reihenklemmen aus erfolgt die Verbindung mit einer weiter entfernt stehenden Schalttafel oder einem Schaltpult (Schaltwarte) am besten durch Mehrleiterkabel, wobei die Steuer- und Meßleitungen für sich gesondert in eigenen Kabeln zusammenzufassen sind.

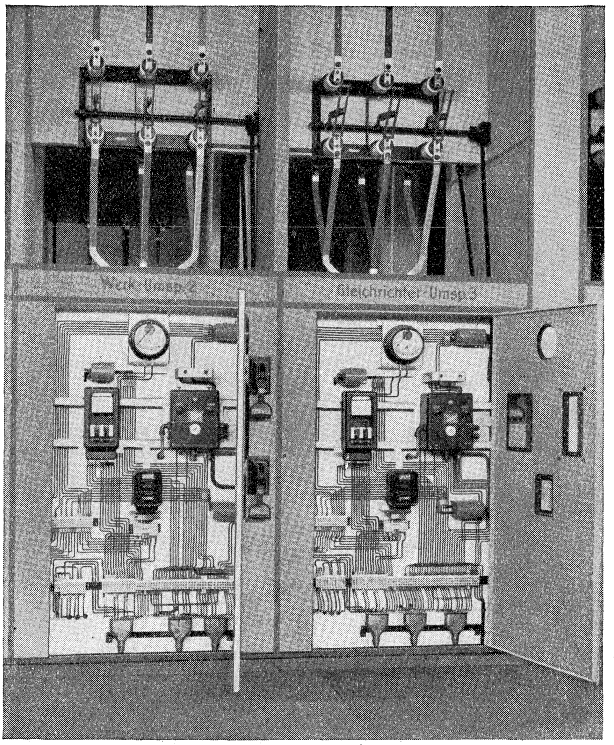


Bild 58. Leitungsverlegung mit Reihenklemmen auf einer Hochspannungs-Schaltwand.

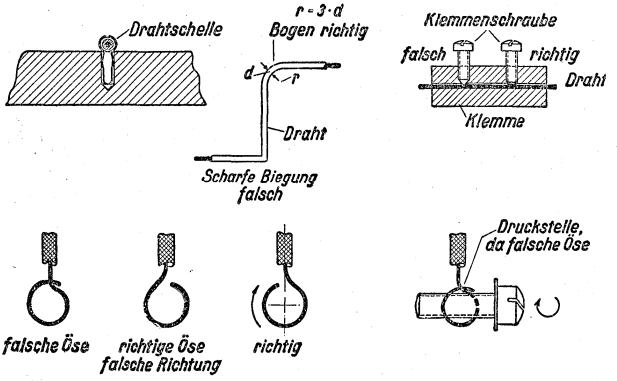


Bild 59. Verlegen, Befestigen und Klemmen von Leitungsdrähten.

Für diese Verbindungsleitungen werden bandbewehrte Mehrleiterbleikabel mit Gummi- oder Papierisolation verwendet, je nach der Anforderung, die der Betrieb an die Höhe der Betriebssicherheit stellt.

Neuerdings werden für die Verlegung in Innenraumanlagen, die im allgemeinen als trocken bezeichnet werden können, **bleilose Kabel mit Kunststoffisolation** (Igelit) mit Erfolg verwendet.

Der Aufbau des Kabels ist charakterisiert durch die Anwendung von Kunststoff für die Isolierhüllen der Adern. Die verseilten Adern sind mit einem Bitumen-Regeneratmantel umpreßt.

Hierüber folgt, wie bei Bleikabeln, ein Polster und eine Bewehrung.

Der Schutz gegen Korrosion der Bewehrung wird durch einen nachträglichen Anstrich bewirkt.

Die Biegeprobe und die Spannungsprüfung wird bei Kabeln mit Kunststoffisolation in gleicher Weise durchgeführt wie für Kabel mit Gummiisolation.

Das Kurzzeichen dieser Kabel ist

Ki AEK =

Kunststoffisolierte **A**luminiumleiter, **E**inzeln umhüllt zum **K**abel verseilt.

Der Zusatz B = **B**andeisenbewehrung (Ki AEKB)

FGb = **F**lachdrahtbewehrung und **G**egenwendel (Flach**b**and)

RG = **R**unddrahtbewehrung und **G**egenwendel (Draht)

Von einer asphaltierten Juteumhüllung wird in Schaltanlagen mit Rücksicht auf die Brandgefahr abgesehen.

Die Querschnitte der Meßleitungen müssen bereits in den Schaltbildern eingetragen sein. Allgemein sollen Meßleitungen nicht unter 2,5 mm² Cu oder 4 mm² Al verlegt werden; für Stromwandler-Meßleitungen ist als Mindestquerschnitt 4 mm² anzunehmen. Der Querschnitt der Leitungen für die Signalstromkreise ist mit Rücksicht auf die Sicherheit gegen Drahtbruch ebenfalls mit 2,5 mm² zu wählen. Für die Verbindung zwischen Nebenwiderstand und zugehörigen Gs-Strommesser wird gewöhnlich werkseitig eine abgeglichene Meßleitung mitgeliefert, die unverkürzt zu verlegen ist; eine sich ergebende überschüssige Länge ist auf einer Porzellanrolle aufzuwickeln.

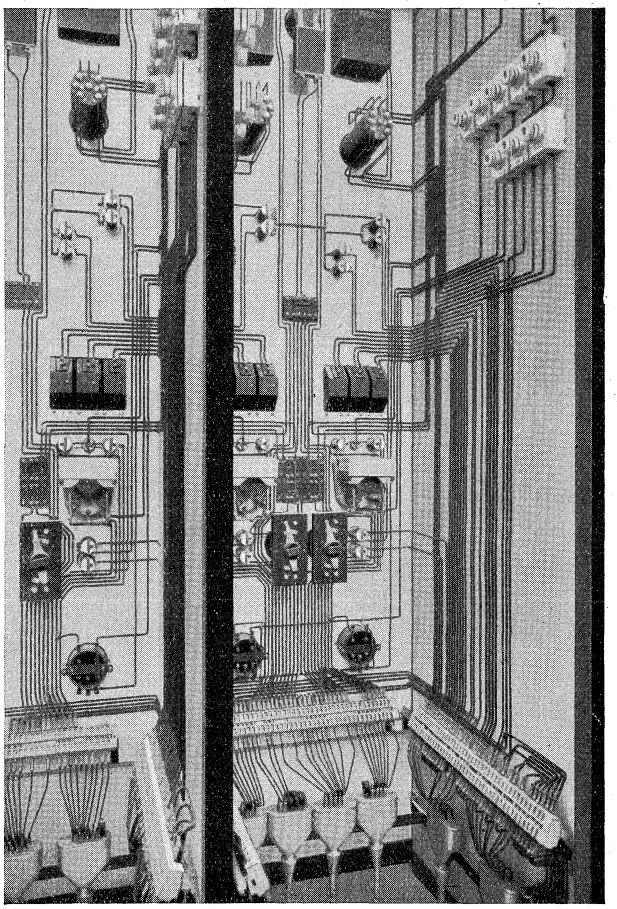


Bild 60. Leitungsverlegung auf der Schalttafelrückseite.

Als Betätigungsleitungen für Einschaltspulen von Gs-Fernantrieben sind, wenn nicht über Schütze geschaltet wird, verstärkte Leitungen, entsprechend der Einschaltstromstärke, zu wählen. Bei der Berechnung des Querschnittes kann nur ein bestimmter Spannungsabfall zugelassen werden. Nach den Vorschriften des VDE muß die elektrische Betätigung noch einwandfrei arbeiten, wenn die Betätigungsspannung um +15% und —15% von der Nennspannung abweicht, die Auslösung, wenn die Betätigungsspannung um +10% und —25% von der Nennspannung verschieden ist. Um die Leistung von Stromwandlern nicht zu überschreiten, ist auch bei längeren Stromwandlerleitungen eine Nachrechnung der Querschnitte vorzunehmen.

Anzustreben ist möglichst die Einheitlichkeit der Kabel in bezug auf Aderzahl und Querschnitt. Zum Angleichen der Aderzahl ist die Verwendung von Reserveadern zu empfehlen. Die Enden der Meß- und Steuerleitungen sind mit Bezeichnungsschildchen aus Cellon oder dergleichen zu versehen. Zu diesem Zweck werden auf die Drahtenden Träger aus Isolierstoff aufgesetzt. Beim Abisolieren der Drahtenden ist darauf zu achten, daß der Leiter nicht verletzt wird, da Einkerbungen zu Drahtbrüchen Anlaß geben können. Endtüllen aus Weichgummi verleihen den Drahtenden ein sauberes Aussehen. Bild 59 gibt einige Hinweise für die sachgemäße Verlegung von Leitungsdrähten.

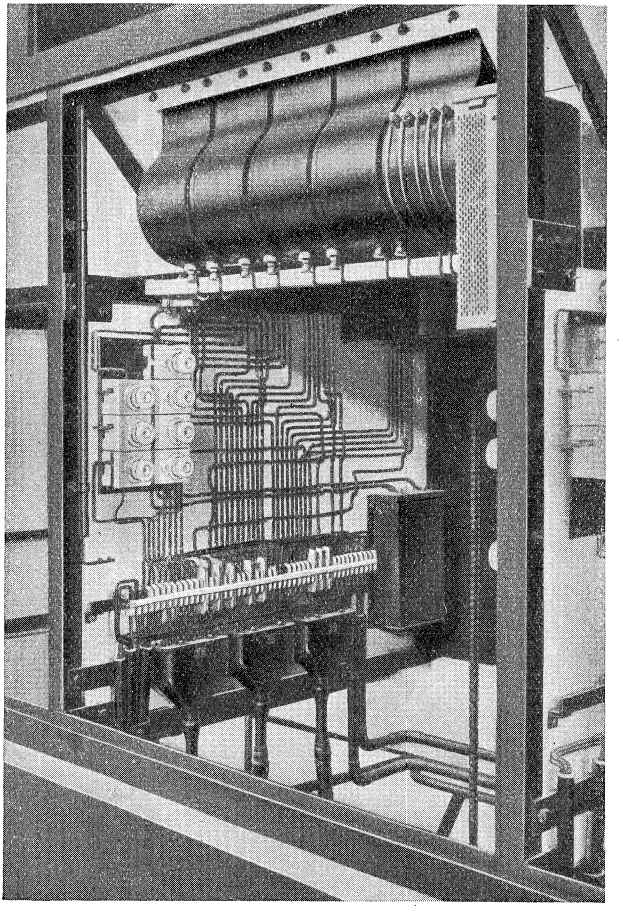


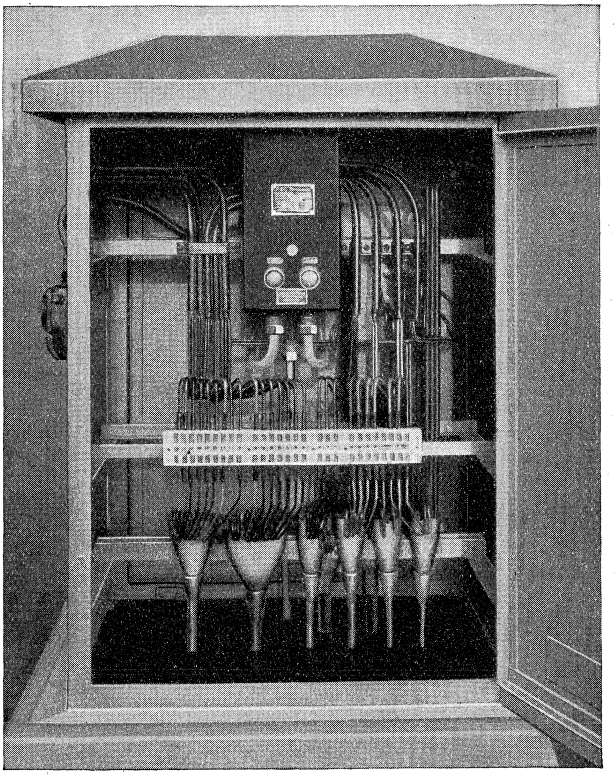
Bild 61. Meßleitungsverlegung in einem Schaltpult.

Bei der Verlegung von Meß- und Steuerkabeln mit Papierisolation sind die Adern gegen das Eindringen von Feuchtigkeit durch Endverschlüsse zu schützen, die mit Isoliermasse ausgegossen werden. Diese Maßnahme kann bei Kabeln mit Gummiisolation entfallen. Die hierbei verwendeten Rohr- oder Flachendverschlüsse ohne Masse sind zum Vorbeugen gegen mechanische Beschädigungen bestimmt.

Für die Verlegung von Meßleitungen auf der Schalttafelrückseite und in Schaltpulten (Bild 60 u. 61) sind ebenfalls NGA-Leitungen zu verwenden. Auf Marmor- und Durometalltafeln geschieht die Befestigung der Drähte mittels federnder Einsteckklemmen aus verkadmetem Stahl. Auf Blechschalttafeln werden die Leitungen mit Schellen aus schwachem Bandeisen befestigt. Unterlegte Streifen aus Preßspan und dergleichen schützen die Leitungen vor Beschädigung beim Anziehen der Schellen.

In Freiluftschaltanlagen werden als Meß- und Steuerkabel asphaltierte Gummiaderkabel mit Eisenbandarmatur verwendet.

Die Prüf- und Reihenklemmen, sowie die Kabelendverschlüsse werden im Freien in geschlossenen, abgedichteten Kästen aus Eisenblech untergebracht (Bild 62). Die



wichtigste Maßnahme, die hierbei zu treffen ist, besteht darin, das Aufsteigen der Erdfeuchtigkeit zu unterbinden. Zu diesem Zweck wird die Oberfläche der Fundamente mit einem geeigneten Isolieranstrich (Teer, Asphalt oder Gudron) versehen. In den einander gegenüberliegenden Wänden oder in den Türen der Blechkästen werden jalousieartige Lüftungsöffnungen vorgesehen, und zwar so, daß die Luft von unten nach oben und quer durch den Raum streichen kann. Auf der Innenseite sind die Luftöffnungen durch feinmaschige Drahtgitter gegen das Eindringen von Insekten abzuschließen.

Bild 62. Klemmenkasten für Meßleitungen in Freiluftanlagen.

Reihen- und Prüfklemmen für Meß- und Steuerleitungen.

Die Reihen- und Prüfklemmen sind als wichtige Bestandteile der Meß- und Steuerleitungsanlagen im Schaltanlagenbau unentbehrlich geworden. Auf die gründliche Durchbildung der Einheitsklemmen wurde deshalb größter Wert gelegt. Einheitliche Gestaltung der Klemm- und Isolierkörper sowie der Zusatzteile (Bild 63) ist wichtig, weil dadurch die Herstellung aller Leitungs- und Prüfverbindungen von Meß- und Steuerleitungen in einfacher, übersichtlicher Form ermöglicht wird.

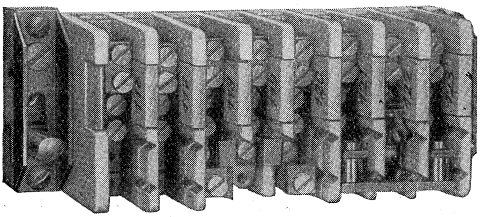


Bild 63. Reihen- und Prüfklemmen.

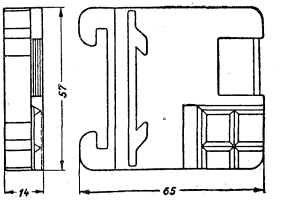


Bild 64. Isolierkörper.

Der Isolierkörper (Bild 64) zur Aufnahme und Isolation der Klemmenkörper ist aus glasiertem Steatit hergestellt. Die Seitenwand ist mit einer Einpressung versehen, auf die ein Cellon-Bezeichnungsschild aufgeschoben werden kann.

Der Klemmenkörper (Bild 65) ist zur Einführung von Leitungen bis 16 mm² geeignet. Diese werden an jeder Klemmstelle mit zwei Schrauben befestigt, wodurch ein einwandfreier Kontakt und zuverlässiger Schutz gegen Lockerung der Verbindung gewährleistet ist. Drahtschutz an jeder Klemmschraube sichert die Leitung gegen Abquetschen. Zur Montage des Klemmensatzes dienen zwei Winkeleisen von 13×13×3 mm, die beiderseits in Schienenträgern (Bild 66) gelagert sind.

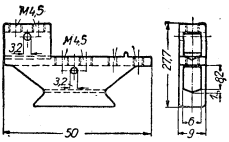


Bild 65. Klemmenkörper.

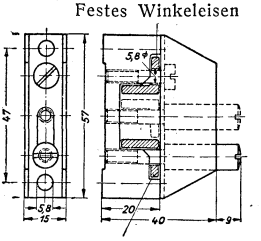


Bild 66. Schienenträger.

Das obere der beiden Eisen wird fest verlegt, während das andere in den Schienenträgern nach oben und unten verschiebbar ist. Zum Abschluß der Klemmenreihe dient ein Endisolierkörper. Die ganze Klemmenreihe wird durch die Schienenträger zusammengehalten oder durch Klemmreiter (Bild 67), wenn zum Zweck späterer Erweiterungen längere Winkeleisen, als zunächst erforderlich, eingesetzt werden.

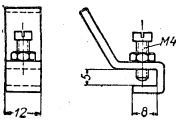
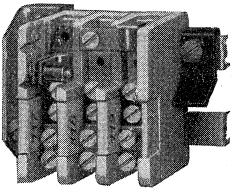


Bild 67. Klemmreiter.

Der einfache Klemmenkörper kann durch Zusatzteile erweitert werden. Ein Zusatzklemmenkörper ermöglicht den Anschluß einer dritten Leitung bis 6 mm².


Bild 68. Klemmensatz für Prüfschaltung.

Zur Herstellung von Prüfschaltungen (Vergleichsmessung für Meßgeräte und Zähler) dienen bewegliche Überbrükkungslaschen. Mit diesen können sowohl senkrechte als auch waagerechte Prüfverbindungen hergestellt werden, ohne daß dabei die fest verlegten Leitungen abgeklemmt werden müssen. (Bild 68).

Leistungsschalter für Hochspannung.

Auswahl der Schalter.

In Hochspannungsanlagen mit 1000 V oder mehr genügen nicht mehr normale Hebelschalter, da sich beim Ausschalten von Betriebsströmen oder Kurzschlüssen Lichtbogen bilden, die zu einer Zerstörung des Schalters führen können. Hier müssen Leistungsschalter verwendet werden, bei denen der Unterbrechungslichtbogen durch besondere Maßnahmen gelöscht wird. Entweder werden die Schaltkontakte in einem mit Öl gefüllten Kessel aus Stahlblech untergebracht, so daß beim Ausschalten sofort Öl zwischen die Kontakte tritt (Ölschalter), oder der Lichtbogen wird mittels Druckgas gelöscht (Druckgasschalter). Dieses Druckgas kann in einem Druckgasbehälter bereitgestellt werden oder von einem Löschmittel aus besonderem Werkstoff unmittelbar durch den Einfluß der hohen Temperatur des Lichtbogens abgegeben werden (Hartgasschalter).

Maßgebend für die Auswahl der Schalter sind außer der Nennspannung und der Nennstromstärke die am Aufstellungsort zu erwartenden Kurzschlußbeanspruchungen. Diese beim Abschalten eines Kurzschlusses oder beim Schalten auf einen Kurzschluß auftretenden Beanspruchungen muß der Schalter einwandfrei bewältigen können, d. h. er muß die erforderliche Kurzschlußfestigkeit haben. Der an der Schaltstelle zu erwartende Kurzschlußstrom ergibt sich aus der Leistung aller Stromerzeuger der

betreffenden Anlage und den elektrischen Widerständen zwischen Aufstellungsort der Schalter und den Stromerzeugern.

Näheres hierüber siehe unter „Regeln für Wechselstrom-Hochspannungsgeräte" (VDE 0670/1937), in denen auch die für Schalter in Betracht kommenden Spannungsreihen aufgeführt sind.

Druckgasschalter.

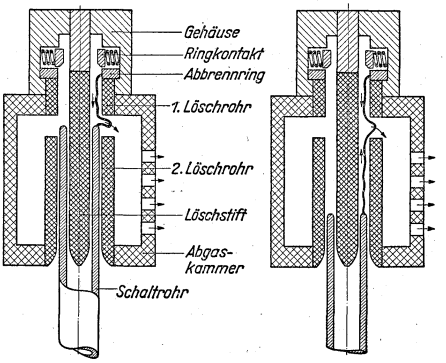
Die Bestrebungen der Betriebsleiter, die Gefahr der Ölbrände und der Verqualmung in Hochspannungs-Schaltanlagen herabzusetzen oder ganz auszuschalten, hat zu einer raschen Verbreitung des Druckgasschalters geführt. Dazu kommt, daß der Druckluftantrieb für Leistungs- und Trennschalter sich als ebenso einfaches wie betriebsicheres Schaltelement erwiesen hat.

Bei den von der AEG entwickelten Druckgasschaltern wird das hohe Löschvermögen unbrennbarer, verdichteter Gase ausgenützt, die durch richtig gesteuerte Strömung eine starke Kühlung des Lichtbogens bei der Kontakttrennung bewirken. Die AEG-Druckgasschalter werden in zwei Bauarten ausgeführt, die sich nur in der Erzeugung des Löschmittels grundsätzlich unterscheiden, und zwar als „Hartgasschalter" (Kompressorloser Druckgasschalter), der das zur Löschung des Lichtbogens benötigte Gas selbst erzeugt, und als „Druckgasschalter", bei dem das Druckgas im betriebsfertigen Zustand in einer besonderen Anlage erzeugt wird.

A. Hartgasschalter (Kompressorloser Druckgasschalter).

Bild 69 zeigt die Schaltkammer des Hartgasschalters. Löschstift und Löschrohr sind aus einem Stoff hergestellt, der beim Abschalten unter Einwirken des Lichtbogens das benötigte Druckgas abgibt. Dieser Stoff hat zugleich isolierende Eigenschaften; Löschrohr und Löschstift werden auswechselbar in die Löschkammern des Schalters eingesetzt, sie sind alterungsbeständig und unveränderlich bei Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen.

Die Zahl der möglichen Abschaltungen ist vorwiegend vom Abbrand der Kontakte abhängig; der Zustand der Abnutzung bzw. der Zeitpunkt, wann die betreffenden Schaltteile ausgewechselt werden müssen, ist durch eine am Schaltrohr angebrachte Marke gut erkennbar. Ist diese Marke nicht mehr sichtbar, so ist der Abbrand so weit vorgeschritten, daß die Auswechselung des Schaltrohres und des Löschrohres mit dem darin befindlichen Löschstift vorgenommen werden muß, was sich in verhältnismäßig kurzer Zeit an Ort und Stelle in einfacher Weise bewerkstelligen läßt.



Augenblick einer Schaltstellung bei Unterbrechung großer Ströme. Augenblick einer Schaltstellung bei Unterbrechung kleiner Ströme.

Bild 69. Schaltkammer für Hartgasschalter.

Da die Schaltrohre sich unterhalb der Löschkammer befinden, ist ein unbeabsichtigtes Wiedereinschalten durch ihr Eigengewicht ausgeschlossen.

Es sind zwei Ausführungsformen zu unterscheiden:

Der Leistungstrennschalter, Form CLT, ist ein Schalter, der alle Merkmale eines Trennschalters aufweist und den Bedingungen des VDE entspricht, aber auch das Abschalten geringer Leistung zuläßt (Bild 70). Er wird für Reihe 10 für eine Ausschaltleistung bis 20 MVA und für Reihe 20 bis 50 MVA gebaut. Um den Einbau der

Schalter kleiner Ausschaltleistungen in Anlagen mit hoher Kurzschlußleistung zu ermöglichen, können am Rahmen Hochleistungssicherungen angebaut werden, die den Kurzschlußschutz übernehmen. Durch diese Anordnung ist bei Verwendung von Sicherungen mit Energiekennzeichen auch bei Abschmelzen der Sicherung in nur einer Phase dreiphasige Abschaltung durch den Schalter möglich.

Der Hartgasschalter, Form CKL, ist ein Schalter, der die Abschaltung von mittleren Kurzschlußleistungen ermöglicht. Er wird für die Reihen 10 bis 20 und für Ausschaltleistungen von 100 bis 200 MVA gebaut. Da die Menge des erzeugten Löschgases mit der Größe des unterbrochenen Stromes wächst, erhalten die Schalter mit 100 MVA und darüber eine besonders ausgebildete Lichtbogenkammer und einen Schalldämpfer, der gleichzeitig die Schaltgase stark kühlt (Bild 71).

Als Antriebarten kommen Handantrieb, Druckluft- und Motorantrieb zur Ausführung.

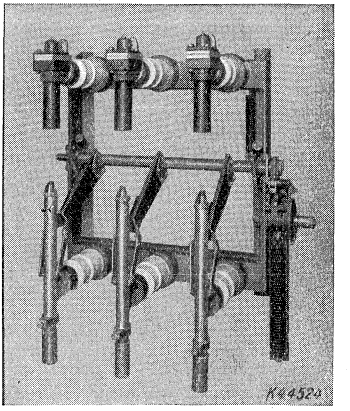


Bild 70. Leistungstrennschalter Form CLT Reihe 10.

Handantrieb. Beide Schalter (CLT und CKL) sind im mechanischen Aufbau so eingerichtet, daß sie über einen einfachen Federspeicher von ungeschultem Personal mit einem Handhebel leicht und sicher geschaltet werden können (Bild 72). Das Ein- und Ausschalten wird durch eine in zwei Stufen schaltende Hauptfeder bewirkt. Um einen besonders günstigen Geschwindigkeitsverlauf über den ganzen Schaltweg zu erzielen, ist noch eine an der Schalterwelle angreifende Zusatzfeder vorgesehen. Die Federn sind kräftig ausgelegt und an den Enden mit eingeschraubten Zugstöpseln versehen. Die Drehbewegung der Schaltwelle wird durch an beiden Seiten der Welle befestigte Anschläge dadurch begrenzt, daß dieselben auf federnd ausgebildete, am Schalterrahmen befestigte Gegenstücke auftreffen.

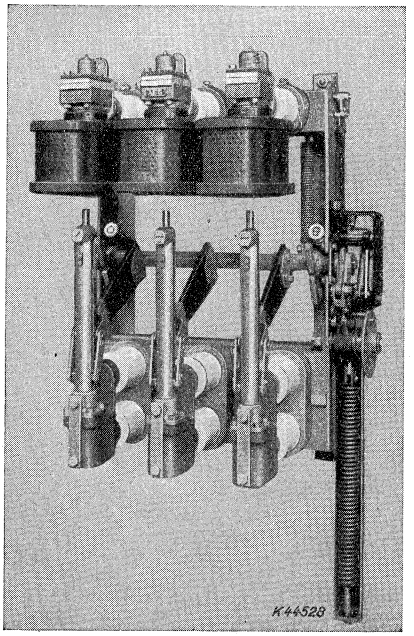


Bild 71. Kompressorloser Druckgasschalter (Form CKL Reihe 10).

Für Fernbetätigung des Schalters ist Druckluft- oder Motorantrieb anzuwenden.

Druckluftantrieb. Der Druckluftantrieb wird getrennt vom Schalter eingebaut. Während des Drückens des Ausschaltknopfes des Betätigungsventils wird zuerst die Verklinkung des Schalters gelöst und der Schalter schaltet aus, anschließend wird dann die Schaltfeder für Ein- und Ausschaltung durch den Druckluftantrieb aufgezogen. Beim Drücken des Einschaltknopfes läuft der Druckluftkolben und das Gestänge leer hoch und bewirkt im letzten Augenblick die Entklinkung des Schalters. Das Ventil muß so lange betätigt werden, bis der Schaltvorgang beendet ist. Durch elektromagnetische Steuerung des Ventils

ist Fernbetätigung möglich, wobei ein Fortschaltkontakt vorgesehen werden kann, der ein Hängenbleiben des Schalters in der Zwischenstellung verhindert.

Motorantrieb. Wie beim Druckluftantrieb wird auch beim Motorantrieb die Schaltfeder für Ein- und Ausschaltung gespannt.

Um den Schalter in die „Ein"-Stellung zu bringen, wird der Betätigungsschalter, der den Motor einschaltet, bedient; er ist so lange auf der Einschaltstellung zu belassen, bis der Schaltvorgang beendet ist. Der Motorantrieb kann auch als Wiedereinschaltvorrichtung benützt werden, wie sie bei unbesetzten Stationen erwünscht ist, damit bei Kurzschlüssen mit vorübergehender Fehlerursache nach kurzzeitiger Wegnahme der Spannung die Station wieder zugeschaltet wird. Bei der Wiedereinschaltvorrichtung erfolgt das Aufziehen der Feder durch den Motor unter Zwischenschaltung eines Zeitelementes, das aus einem Malteserkreuz und einer Nockenscheibe auf der Motorwelle besteht. Beim Anbringen einer Zeitnocke beträgt die Zeit, die zum Aufziehen der Feder benötigt wird, 3 Minuten, bei 2 Nocken 1,5 Minuten, bei 3 Nocken 1 Minute und bei 4 Nocken 0,75 Minuten. Es besteht also die Möglichkeit, die Zeit zwischen Kurzschlußauslösung und Wiedereinschaltung mit einfachen Mitteln zu verändern. Auch die Zahl der Wiedereinschaltungen kann je nach den Betriebsbedingungen zwischen einer und vier Wiedereinschaltungen gewählt werden.

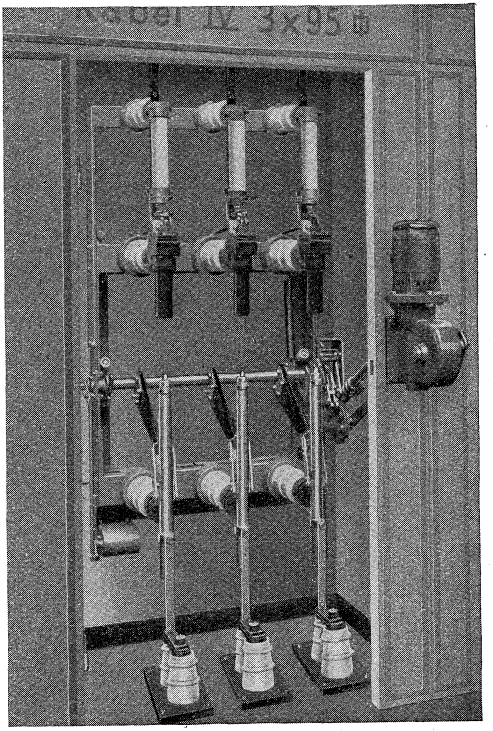


Bild 72. Hartgasschalter Reihe 20 für 200 MVA mit angebautem Motorantrieb.

Einbau. Die Einfachheit der Hartgasschalter (kompressorlose Druckgasschalter) macht sie besonders geeignet für Einzelaufstellung in kleineren Verteilungs- und Industrieanlagen, Ausläuferschaltstellen und Werken, in denen keine ständige Wartung vorgesehen ist. Auch die Magnetisierungsströme leerlaufender Transformatoren und die Ladeströme leerlaufender Leitungen werden hiermit einwandfrei abgeschaltet.

Auslöser. Durch Vorschalten von Hochleistungssicherungen läßt sich bei den CLT-Schaltern erreichen, daß Schalter kleiner Ausschaltleistung in Anlagen mit hoher Kurzschlußleistung eingebaut werden können. Im Kurzschlußfall übernimmt die Hochleistungssicherung den Kurzschlußschutz der Anlage, während der Schalter nur das Auftrennen des Netzes nach Durchbrennen der mit einem Energiekennzeichen versehenen HS-Sicherungen bewirkt. Beim Durchschmelzen von nur einer HS-Sicherung mit Energiekennzeichen erfolgt allpoliges Abschalten durch den Schalter. Darüber hinaus ist noch ein thermischer Primärauslöser entwickelt worden, der zusammengebaut mit Hochleistungssicherungen dem Schalter die Eigenschaft eines Motorschutzschalters gibt.

Die Schnellschaltvorrichtung ist bei allen Hartgasschaltern so ausgebildet, daß der Anbau von Primärrelais, Auslösespulen, Wandlerstromauslösern ohne besondere Freiauslösung möglich ist.

Im übrigen können alle Hartgasschalter mit den Auslösern versehen werden, die bei Hochspannungsschaltern üblich sind.

B. Druckgasschalter

(mit unter Druck gespeichertem Löschgas).

Während der Hartgasschalter durch den einfachen Aufbau und die Selbständigkeit jeder Einheit für Einzelaufstellung vor allem in unbedienten Stationen bis 20 kV bevorzugt wird, umfaßt der Druckgasschalter mit unter Druck gespeichertem Löschgas das gesamte Gebiet bis zu den höchsten Spannungen und Leistungen. Der Druckgasschalter ist dem Hartgasschalter (kompressorloser Druckgasschalter) dort überlegen, wo es sich um bediente Anlagen mit mehreren Schaltern handelt oder wo häufig Abschaltungen hoher Leistungen notwendig sind, da bei ihm praktisch keine Abnutzung der Kontakte eintritt.

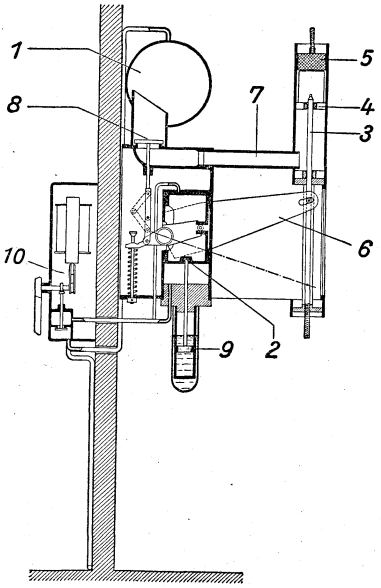


Bild 73. Druckgasschalter Reihe 10-30. Grundsätzlicher Aufbau.

Druckgasschalter mit unter Druck gespeichertem Löschmittel werden in zwei Ausführungsformen gebaut, und zwar für Spannungen bis 30 kV als Tornisterschalter, von 30 bis 220 kV als Freistrahlschalter.

Der grundsätzliche Aufbau und die Wirkungsweise des Druckgasschalters in der Tornisterausführung ist in Bild 73 dargestellt. Der Schalter besteht im wesentlichen aus dem in der Schaltzelle angeordneten Hochspannungsteil mit aufgebautem Druckluftbehälter (1) und aus dem außerhalb der Schaltzelle anzubringenden Betätigungsventil (10). Beim Ausschalten strömt die Druckluft in den Antriebzylinder, wobei der Kolben (2) des Antriebs nach unten bewegt und die Schaltwelle gedreht wird. Die mit der Schaltwelle verbundenen Isolierhebel (6) ziehen die Kontaktstifte (3) aus den Düsenkontakten (4) in die Ausschaltstellung. Gleichzeitig mit Einleiten der Drehbewegung wird das Blasventil geöffnet, so daß Druckluft aus dem Behälter den Düsenkontakten zuströmen kann (7). Die Ventilsteuerung ist dabei so vorgesehen, daß bei Kontakttrennung der volle Löschdruck erreicht wird. Der entstehende Lichtbogen wird unter Einwirkung der strömenden Druckluft durch die zu Düsen ausgebildeten Kontakte hindurchgeblasen und bereits nach einer Halbwelle zum Löschen gebracht. Nach wenigen Zentimetern Kontakttrennung ist der Lichtbogen gelöscht und unter Einwirkung der Ventilfedern erfolgt ein schnelles Schließen des Blasventils. Durch diese Maßnahme werden die Löschluftverluste vor der Trennung der Schaltkontakte und weitere Verluste nach dem Löschen der Schaltlichtbögen vermieden.

Beim Einschalten wird das Einlaßventil geöffnet und der Kolben im Antriebzylinder durch die Druckluft nach oben bewegt, wobei die Kontaktstifte durch die Isolierhebel in die Kontakte geschoben werden; hierbei werden die Kontakte nicht beblasen.

Der Schalter wird fertig zusammengebaut zum Versand gebracht und kann am Aufstellungsort mit oder ohne Grundrahmen eingebaut werden (siehe Bild 133, S. 212).

Die kurze Eigenzeit des Schalters, der geringe Schaltluftverbrauch und der Zusammenbau von Behälter und Schalter ermöglichen, daß nur kleine Rohrquerschnitte zu verlegen sind, die mit geringen Hilfsmitteln an der Baustelle eingebaut werden können (Bild 74). Das Stoßventil (8) ist in dem Verbindungskanal zwischen dem Behälter und der Grundplatte angeordnet. Der Ventilsitz wird von einer einfachen Metallplatte mit vorspringendem ringförmigen Rand, der Ventilteller von einer Kunststoffscheibe, die in der Mitte mit einem Stößel für die Betätigung versehen ist, gebildet (Bild 77c).

Zur Steuerung der Druckgasschalter dient je ein an der Schaltwand angeordnetes Betätigungsgerät. Die beiden in dieses Gerät eingebauten Betätigungsventile sind dauerhafte Metall-Kugelventile. Das Steuergerät mit den Betätigungsventilen besitzt Druckknöpfe für Ein- und Ausschaltung von Hand und Magnetspulen, die auf die Ventile wirken. Für die Betätigung ist eine unabhängige Hilfsstromquelle vorzusehen. Die selbsttätige Ausschaltung erfolgt durch an Stromwandler angeschlossene Sekundärrelais, welche den Auslösestromkreis schließen.

Der Anbau von Wandlerstromauslösern, die auf ein Hilfsventil wirken, ist bei allen Schaltern der Wandtype möglich.

In Einzelfällen werden Druckgasschalter mit 100 und 200 MVA Ausschaltleistung auch mit angebauten „Primärauslösern" ausgeführt. Es kommen

a) abhängig verzögerte,
b) begrenzt abhängig verzögerte und
c) unabhängig verzögerte

Auslöser, auf ein Hilfsventil oder auf eine Kontaktvorrichtung wirkend, in Anwendung. Die Ausführung „wirkend auf Hilfsventil" entspricht der auf die Freiauslösung wirkenden Relais-Ausschaltung bei Ölschaltern und kommt zur Verwendung, wenn eine Hilfsstromquelle nicht zur Verfügung steht. Das Hilfsventil wird von der Auslösestange der Primärrelais betätigt und wirkt pneumatisch auf das Ausschaltventil des Druckgasschalters.

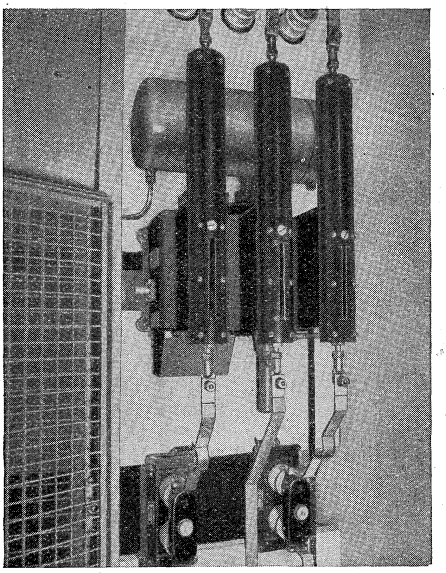


Bild 74. Druckgasschalter in der Hochspannungszelle.

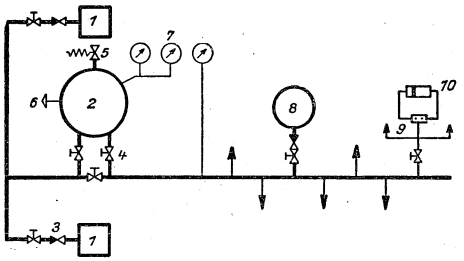
Wenn die Schalter für Fernbetätigung (mit Auslösespulen für Arbeits- oder Ruhestrom) eingerichtet werden, so erfolgt die Auslösung durch ein Primärrelais in der Weise, daß eine im Auslöserstromkreis des Schalters liegende Kontaktvorrichtung vom Relais betätigt wird.

C. Drucklufterzeugung.

Im Bahnbetrieb, im Bergbau und in fast allen Industriebetrieben ist Druckluft ein bekanntes Mittel für die verschiedensten Anwendungszwecke. Die dort gewonnenen Erfahrungen sind beim Betrieb von Druckgasschaltern verwendet worden.

Durch richtige Bemessung der Luftspeicheranlage und durch zweckentsprechende Auswahl und Größe der Drucklufterzeuger wird die erforderliche Betriebsicherheit gewährleistet. Bild 75 zeigt die grundsätzliche Anordnung einer Drucklufterzeugungs- und Verteilungsanlage. Für eine größere Anzahl von Druckgasschaltern erhält die

Speicheranlage gewöhnlich zwei Luftverdichter, wobei durch zweckentsprechende Einstellung der Kontaktmanometer bei Entnahme größerer Luftmengen beide ansprechen, wodurch die Nachfüllzeit auf ein Mindestmaß herabgesetzt wird. Wenn nur wenig Luft zum Auffüllen der Speicheranlage nötig ist, so wird wegen des geringen Druckabfalles nur ein Luftverdichter ansprechen. Die Druckluftanlagen werden selbsttätig überwacht und gewährleisten dadurch eine stete Schaltbereitschaft der angeschlossenen Druckgasschalter. Wenn in Einzelfällen für besonders wichtige Anlagen darüber hinaus eine noch größere Sicherheit gefordert wird, so besteht bei Druckgasschaltern die Möglichkeit, durch Anschluß einer Stickstoff-Flasche am Entwässerungshahn des Betätigungsventils eine Notschaltung durchzuführen. Das vorübergehende Anschließen eines fahrbaren Hilfsdruckluft-Aggregates erfolgt über ein Reduzier- und Überdruckventil. Durch angeschlossene Kontaktmanometer oder Druckwächter erfolgt das Zu- und Abschalten der Verdichter in Abhängigkeit vom Luftdruck. Bild 76 zeigt eine Drucklufterzeugungsanlage.



1=Drucklufterzeuger
2=Hauptkessel
3=Rückschlagventil
4=Absperrventil
5=Sicherheitsventil
6=Entwässerungsventil
7=Kontaktmanometer
8=Druckgasschalter
9=Betätigungsventil
10=Trennschalterantrieb

Bild 75.
Rohrschema einer Drucklufterzeugungsanlage.

Als Luftverdichter werden Kolbenmaschinen verwendet, die für Enddrücke über 8 atü zweistufig und für 16 atü dreistufig ausgeführt sind. Hierdurch wird eine verhältnismäßig günstige Endtemperatur der Luft beim Austritt aus der letzten Stufe erreicht. Die Verteilungsleitungen bestehen aus nahtlos gezogenem Stahlrohr. Die Verbindung der einzelnen Rohre sowie die Befestigung der Flanschen erfolgt durch Schweißen.

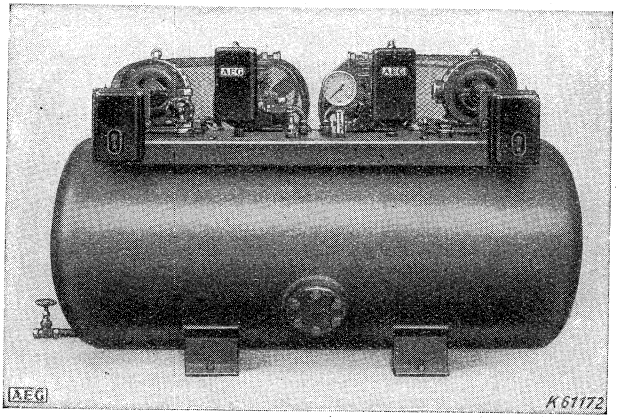


Bild 76. Drucklufterzeugungsanlage für 1000 Liter Kesselinhalt.

Für Druckgasschalter der Wandtype, bei denen die Luft zuerst durch die Betätigungsventile strömt, wird für die Verbindungsleitung kupferplattiertes Stahlrohr verlegt, um zu verhindern, daß Rostteilchen, die mit der Luftströmung weitergerissen werden, das Arbeiten der Betätigungsventile beeinträchtigen. Letzteres trifft auch für Druckluftantriebe für Trennschalter zu.

Die Rohrleitungen, die auf der Baustelle entsprechend den örtlichen Verhältnissen gebogen und angepaßt werden, sind vor dem endgültigen Zusammenbau zu reinigen und mit möglichst hohem Luftdruck auszublasen. Es ist auch darauf zu achten, daß sich keine Wassersäcke bilden.

Als Absperrorgan werden in den meisten Fällen Kolbenschieberventile verwendet, da mit ihnen die größte Dichtigkeit erreicht werden kann.

Überwachung und Bedienung der Druckgasschalter.

A. Hartgasschalter.

Der Anbau der Hartgasschalter darf nur senkrecht, d. h. mit der Schaltkammer nach oben erfolgen. Die Schaltrohre müssen beim Schalten vollkommen klemmungsfrei und genau zentrisch in die Löschrohre einlaufen. Um das zu erreichen, sind entsprechend der jedem Schalter beigelegten Anbauvorschriften mitgelieferte Unterleg- und Ausgleichscheiben zwischen Schalterrahmen und Befestigungswand vorzusehen. Die Abnutzung der Hartgasschalter bei betriebmäßigem Schalten ist etwa derjenigen bei einem Ölschalter gleichzusetzen. Löschstift und Löschrohr (Bild 77a) nützen sich ungefähr in dem gleichen Verhältnis ab wie das Schaltrohr, so daß alle Teile gleichzeitig zu erneuern sind. Der Zustand der Abnutzung ist in ausgeschaltetem Zustand ohne weiteres am Schaltrohr erkenntlich. Hat der Abbrand an einer Stelle des Rohres die 10 mm vom Rohrende entfernte Bohrung erreicht, so sind Schaltrohr, Löschrohr und Löschstift auszuwechseln. Bild 77a zeigt Ersatzteile für Hartgasschalter Form CKL; es ist Teil 1 das Schaltrohr, Teil 2 der Löschstift mit dem Durchgangbolzen 3, Teil 4 ist der Abbrandring und Teil 5 die Abgaskammer.

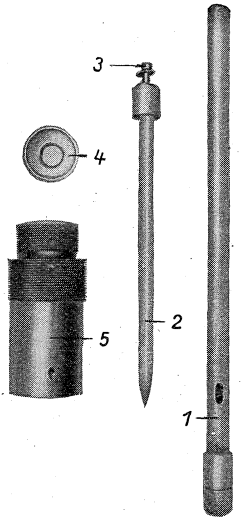


Bild 77a. Ersatzteile für Hartgasschalter, Form CKL, Reihe 10, 100 MVA.

Die Auswechselung der abgenutzten Teile am Schalter darf nur im spannungslosen Zustand und bei entspannter Hauptfeder der Schnellschaltvorrichtung (Bild 77b) erfolgen. Für die Prüfung und Montage von Schaltern oder Antrieben ist die Schaltfeder durch Lösen des Bindedrahtes und Herausschrauben der Spannschraube auszuhängen. Nach der erfolgten Montage muß die Schaltfeder wieder eingehängt werden und mittels Spannschraube so weit gespannt werden, bis sich das Federende mit der am Federträger in roter Farbe angebrachten Kennmarke deckt. Beim Spannen der Schaltfeder ist darauf zu achten, daß erst kurz nach Einfallen der Halteklinke in Sperrstellung „Schaltbereit" das Kniegelenk in seine gestreckte Totlage zurückgehen darf.

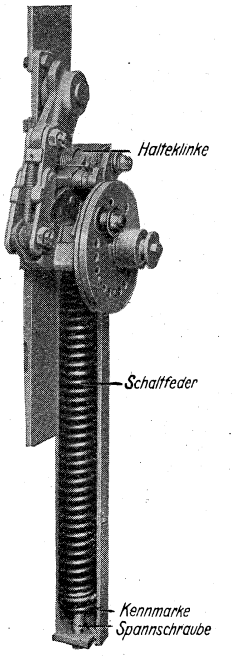


Bild 77b. Schnellschaltvorrichtung für Hartgasschalter, Form CKL.

B. Druckgasschalter.

Der mitgelieferte Handschalthebel für die Druckgasschalter ist von der Seite in die Kuppelwelle des Schalters einzuführen und durch Auf- und Niederbewegen dieses Hebels ist der Schalter auf Leichtgängigkeit zu prüfen. Ein wesentlicher Bewegungswiderstand darf nur während des Eingriffes der Kontaktstifte in die Düsenkontakte auftreten. Auf dem übrigen Teil des Schaltweges dürfen keine nennenswerten Reibungswiderstände bemerkbar sein. Mit dem Handhebel

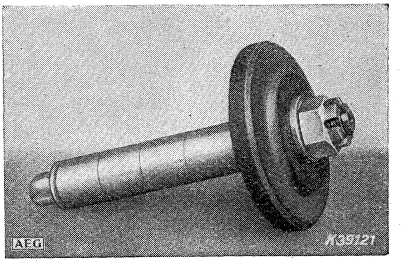


Bild 77c. Ventilteller.

darf der Schalter bewegt werden, wenn der Druckluftbehälter nicht gefüllt und der Schalter spannungslos ist. Die wichtigsten Überwachungsarbeiten erstrecken sich auf die Prüfung der Kontaktteile. Sie sind je nach den Betriebsverhältnissen vorzunehmen. Bei der Bestellung von Ersatzteilen sind außer der Benennung und Nummer der Ersatzteilliste unbedingt die auf den Leistungsschaltern aufgestempelte Nummer und der Typ der Hochspannungsteile und der Steuerapparatur anzugeben. Es empfiehlt sich, ein komplettes Betätigungsventil vorrätig zu halten, da die Auswechselung des Ventils schneller durchzuführen ist als die gründliche Überholung der Schalter selbst.

Ölschalter.

Bauformen der Ölschalter.

Wegen der günstigen mechanischen Festigkeit werden die Ölschalter von der AEG nur noch als Rundkesselschalter, Bauform CO, hergestellt (Bild 78). Hinsichtlich der Kontaktausbildung sind bis Reihe 30 zwei Bauformen zu unterscheiden, und zwar Klotzkontakte großer Masse, die bei größeren Schaltern durch hebelartig unterteilte Kontaktbrücken als Wälzkontakte wirken (Bild 79a), und Lamellenkontakte (Bild 79b) für Abschaltleistungen bis zu 400 MVA. Bei noch größeren Leistungen geschieht die Abschaltung in Löschkammern.

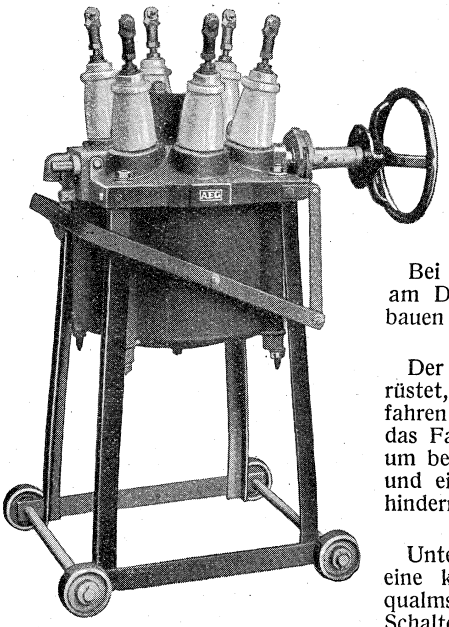


Bild 78. Rundkesselölschalter Reihe 10.

Einbaumöglichkeiten.

In Schaltanlagen werden die Ölschalter gewöhnlich in einzelnen nebeneinanderbefindlichen Schaltzellen untergebracht. Für den Einbau sind folgende Ausführungsarten der Schalter vorgesehen:

Hängende Anordnung:

Bei dieser Ausführung erhält der Ölschalter am Deckel angebrachte Tragtatzen zum Einbauen in das Eisengerüst.

Mit Fahrgestell:

Der Ölschalter ist mit einem Fahrgestell ausgerüstet, mit welchem er in die Schaltzelle eingefahren wird. Hierbei ist darauf zu achten, daß das Fahrgestell selbst in der Zelle befestigt wird, um bei Schaltungen ein Bewegen des Schalters und ein Herausspringen der Kupplung zu verhindern.

Für Deckeneinbau:

Unter dem Schalterdeckel befindet sich hier eine kräftige Stahlblechplatte, durch die ein qualmsicherer Abschluß zwischen dem Raum der Schalteranschlüsse und dem unteren Raum, in dem sich das Öl befindet, erreicht wird.

Antriebsarten der Ölschalter.

Bei der Wahl der Antriebsart, d. h. Längs- oder Querantrieb (Bild 80 und 81), ist in erster Linie auf eine günstige Leitungsführung zu achten. Auf die Betätigungswelle wird ein Handrad oder zur Verbindung mit einem Auslösegerät eine Kupplungsgabel gesetzt. Der Drehwinkel beträgt bei CO-Schaltern 90°. Bild 82 zeigt die Wand-Rosette des Rundkessel-Ölschalters, auf der die Schalterstellung zu ersehen ist.

Bei Ölschaltern, die mit selbsttätigen Auslösern ausgerüstet sind, wird durch die eingebaute Verklinkung eine Entkupplung zwischen Handrad und Schalter herbeigeführt (Freiauslösung). Das Handrad bleibt daher beim selbsttätigen Auslösen in

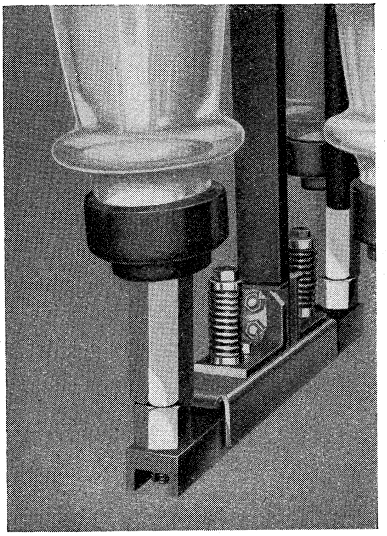


Bild 79a. Wälzkontakt.

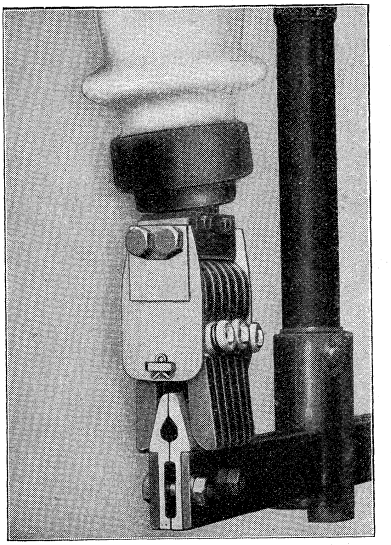


Bild 79b. Lamellenkontakte.

der Einschaltstellung stehen. Durch Rückdrehen des Handrades in die Ausschaltstellung tritt die Kupplung zwischen Ölschalter und Handrad wieder ein. Beim Ausschalten von Hand wird die Verklinkung des Schalters durch Rückdrehen des Handrades in die Ausschaltstellung gelöst, worauf sich der Schalter wie bei selbsttätiger Auslösung augenblicklich öffnet. Der Ausschaltvorgang selbst geschieht immer durch starke Federn, die im Schalterdeckel untergebracht sind.

Die Anzeige der Schalterstellung erfolgt bei direktem Handantrieb, bei gekapselten Auslösegeräten und Fernantrieben durch einen Zeiger, bei Schaltern mit Zwischengetrieben wie Kegelrädern, Hebel- oder Kettenübertragung durch Signallampen, die durch eine von der Schalterwelle angetriebene Kontaktvorrichtung gesteuert werden, oder auf besonderen Wunsch durch eine von der Schalterwelle mechanisch angetriebene Anzeigevorrichtung auf der Schaltwand der Schalterzelle.

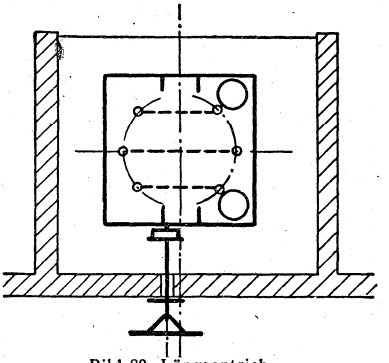


Bild 80. Längsantrieb.

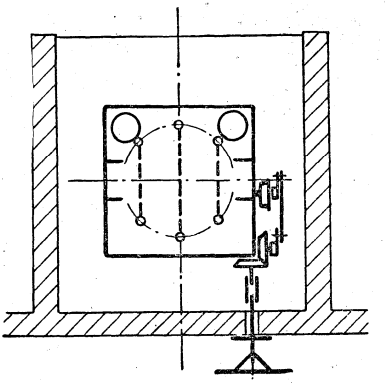


Bild 81. Querantrieb.

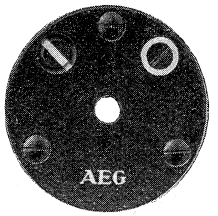


Bild 82. Ölschalterrosette.

Kettenantrieb.

Kann der Ölschalter aus räumlichen Gründen nicht unmittelbar durch das Handrad betätigt werden, so ist als mechanischer Fernantrieb vom Handrad zur Schalterwelle des Ölschalters ein Kettenantrieb zu verwenden. Das Handrad sitzt dann auf einer besonderen in der Schaltwand gelagerten Welle, die ebenso wie der Ölschalter ein Kettenrad erhält. Die über die Kettenräder laufenden beiden Kettenstücke werden bei größerer Wellenentfernung durch Drahtseile miteinander verbunden. In Fällen, in denen die beiden Kettenräder nicht in einer vertikalen Ebene liegen, werden Kettenantriebe mit Vorgelege verwendet (Bild 83).

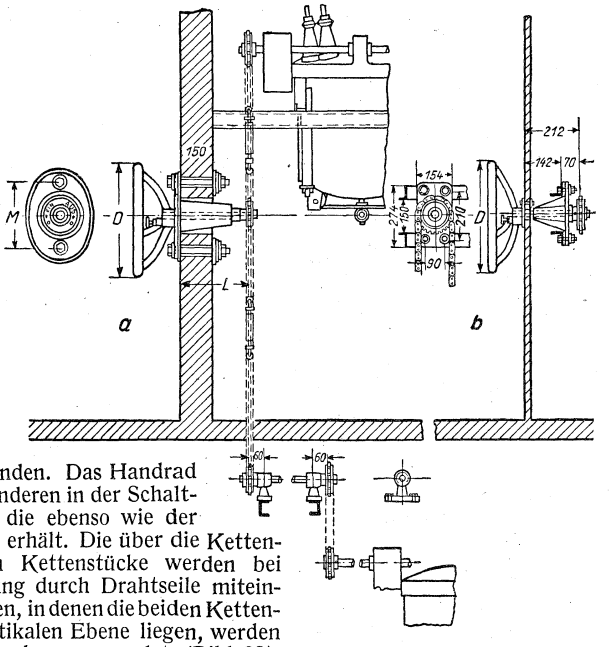


Bild 83. Kettenantrieb für Ölschalter.

Betätigungsarten der Ölschalter.

Das Schalten der Ölschalter kann auf folgende Arten geschehen:

A. Ein- und Ausschalten von Hand,
B. Einschalten von Hand, Ausschalten durch Auslöser,
C. Ein- und Ausschalten durch Fernschaltgeräte (Magnete, Motoren, Kraftspeicher, Druckluftantriebe).

Für die Wahl der Betätigungsart sind maßgebend die Größe der Anlage, der zur Verfügung stehende Raum, die jeweils geltenden Vorschriften sowie die besonderen Anforderungen des Betriebes.

A. Ein- und Ausschalten von Hand.

Das Einschalten wird durch ein Handrad vorgenommen und muß schnell erfolgen. Bei höheren Abschaltleistungen sowie bei Einschaltströmen über 30 000 A ist die Handbetätigung nicht mehr anwendbar. Die Ölschalter sind dann mit Fernbetätigung einzurichten, da nur hierdurch das für diese Schalter erforderliche Schnellschalten gewährleistet wird. Das Ausschalten erfolgt durch ein Handrad, das auf die Verklinkung der Freiauslösung wirkt.

B. Einschalten von Hand, Ausschalten durch Auslöser.

Bei Ölschaltern, bei denen das Einschalten von Hand erfolgt, kann das Ausschalten außer von Hand auch durch selbsttätig wirkende Auslöser geschehen. Man unterscheidet folgende Auslöserarten:

1. Primär- oder Hauptstromauslösung (direkt auf die Durchführungen aufgebaute Auslöser),
2. Sekundärauslösung,
   a) am Schalterdeckel angebaute Auslöser,

b) getrennt vor der Schaltwand angeordnete Auslöser.

Primärrelais können bei ihrem kräftigen Aufbau nicht mit der gleichen Genauigkeit arbeiten wie Sekundärrelais, weshalb auch die in den Regeln des VDE festgelegten Toleranzen oder Eichwerte entsprechend weiten Spielraum lassen. Sie sind auch nur dort anzuwenden, wo die geforderte Abschaltleistung eines Schalters nicht die Kurzschlußfestigkeit der Spule des Primärauslösers übersteigt.

Die unter 2 genannten Sekundär-Auslöser benötigen Strom- oder Spannungswandler oder eine unabhängige Hilfsstromquelle. Die Überstromauslöser werden gewöhnlich zweiphasig gewählt, können aber auch dreiphasig angeordnet werden, wenn zu befürchten ist, daß die dritte Phase durch Erdschluß allein überlastet werden könnte. Auch dient bei Ausfall eines Auslösers der dritte als Reserve. Bei starr geerdetem Nullpunkt, d.h. wenn der Nullpunkt unmittelbar oder niedrig-ohmig geerdet ist, muß jede Phase einen Schutz erhalten.

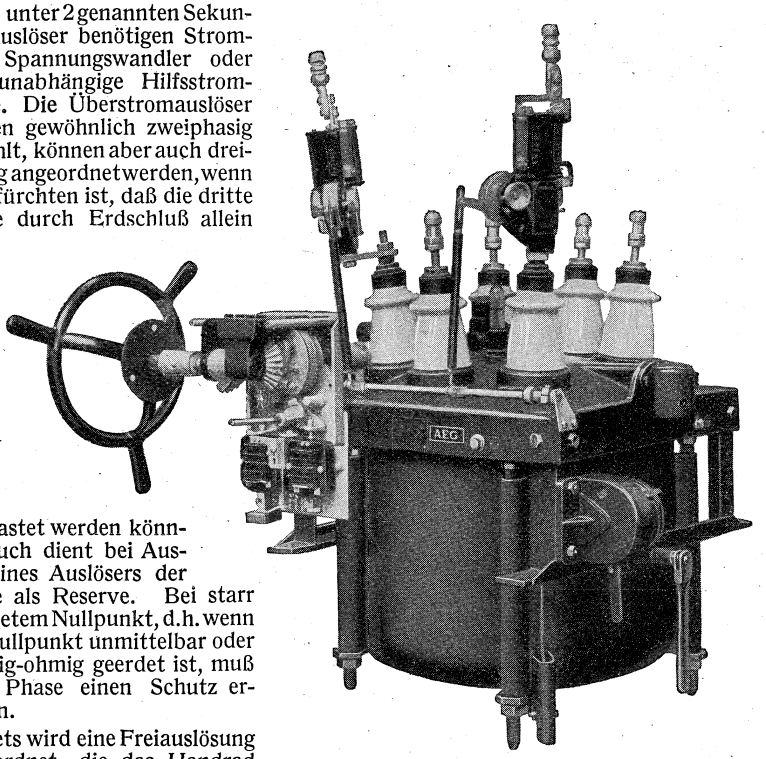


Bild 84. Ölschalter, Reihe 10, mit Primärauslösung und mit angebautem Ruhestromauslöser, Sperrmagnet und Längsantrieb.

Stets wird eine Freiauslösung angeordnet, die das Handrad bei selbsttätiger Ausschaltung entkuppelt.

1. Primär- oder Hauptstromauslösung (direkt auf die Durchführungen aufgebaute Auslöser).

Die direkte Überstromauslösung kommt wegen ihrer einfachen, billigen und kräftigen Bauart für solche Schaltanlagen in Betracht, in denen mit wenig geschulter Bedienung gerechnet werden muß und bei denen etwa auftretende Kurzschlußkräfte sich in mäßigen Grenzen halten. Dies wird vorwiegend der Fall sein bei Ausläuferstationen zur Versorgung kleiner Bezirke. Die Einfachheit dieser Auslöseart ist dadurch gegeben, daß weder Stromwandler noch eine unabhängige Stromquelle erforderlich sind.

Wie Bild 84 zeigt, sind die von dem hochgespannten Betriebsstrom durchflossenen Primärrelais auf die Isolatoren des Ölschalters aufgesetzt und wirken mittels Isolierstangen auf die am Ölschalterdeckel angebrachte Verklinkung der Freiauslösung. Die Arbeitsweise beruht auf Anziehen eines Ankers, der entweder unmittelbar die

Auslösung des Schalters bewirkt oder ein Uhrwerk in Tätigkeit setzt, das nach Ablauf der eingestellten Zeit diese Auslösung vornimmt. Sinkt bei Zeitauslösung vor Ablauf dieser Zeit der Strom unter den eingestellten Wert, so geht der Anker in seine Ruhelage zurück, ohne daß eine Auslösung erfolgt. Auf Grund der verschiedenen Verzögerungsarten werden nachstehende Auslöserarten unterschieden, die je nach Art des zu schützenden Anlageteiles zu wählen sind.

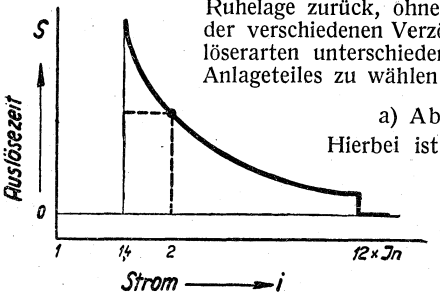


Bild 85. Kennlinie für abhängig verzögerte Auslöser.

a) Abhängig verzögerte Auslöser.

Hierbei ist die Verzögerungszeit abhängig von der Höhe des Auslösestromes. Sie wird kleiner bei steigendem Strom und schließlich erfolgt beim Kurzschluß unverzögerte Auslösung (Bild 85). Durch die letztgenannte Eigenschaft ist das selektive Abschalten hintereinandergeschalteter mit abhängig verzögerter Auslösung versehener Ölschalter nicht gewährleistet. Diese kann erreicht werden durch

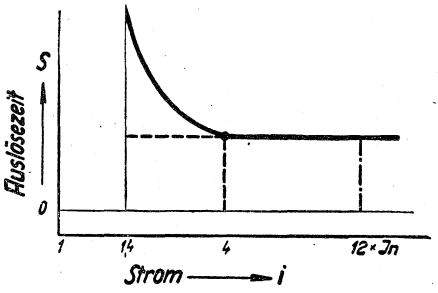


Bild 86. Kennlinie für begrenzt abhängig verzögerte Auslöser.

b) begrenzt abhängig verzögerte Auslöser,

bei denen die Auslösung meist bis zu dem etwa vierfachen Nennstrom abhängig verzögert und darüber hinaus unabhängig verzögert erfolgt (Bild 86).

c) Unabhängig verzögerte Auslöser.

Hierbei erfolgt die Auslösung nach Überschreiten eines eingestellten Überstromes, der von dem 1,4- bis 2 fachen des Nennwertes einstellbar ist, mit einer Verzögerungszeit, die unabhängig von der Höhe des Auslösestromes ist (Bild 87).

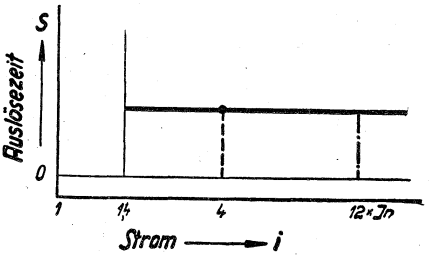


Bild 87. Kennlinie für unabhängig verzögerte Auslöser.

Bild 84 zeigt den gewöhnlichen Auslöser, Form SA, abhängig verzögert bzw. SBA, begrenzt abhängig verzögert; Bild 88 den MDu-Auslöser, begrenzt abhängig bzw. unabhängig verzögert mit Doppelanker.

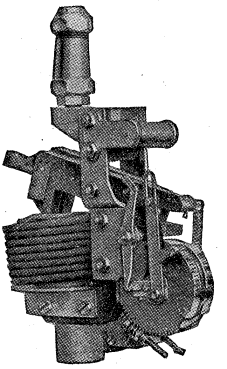


Bild 88. Primärauslöser mit begrenzt abhängiger bzw. unabhängiger verzögerter Charakteristik.

2. Sekundärauslösung

a) am Schalterdeckel angebaute Auslöser.

Wird bei Auslösungen von Ölschaltern Wert auf genaue Zeitstaffelung gelegt, so ist es zweckmäßig, Sekundärauslösung zu wählen. Der Ölschalter selbst erhält dann einen am Schalterdeckel angebrachten Auslöser, der beim Ansprechen unmittelbar auf die Verklinkung der Freiauslösung wirkt (Bild 84).

Dieser Auslöser kann in Arbeitsstrom-, Ruhestrom- und Wandlerstrom-Schaltung ausgeführt werden.

Kennzeichnend für diese Auslösegeräte ist der außerordentlich geringe Energieverbrauch der Auslöser, wodurch die Verwendung kleiner und billiger Spannungs- oder Stromwandler ermöglicht wird. Die Entklinkung des Schalterschlosses erfolgt dabei nicht unmittelbar durch den Auslösemagneten, sondern durch einen kleinen Kraftspeicher, dessen Feder beim Rückdrehen des Handrades gespannt wird. Die Auslösespule hat daher lediglich die Verklinkung des Federkraftspeichers zu lösen.

1. Arbeitsstrom.

Bei der Arbeitsstromschaltung ist die Auslösespule betriebsmäßig stromlos. Der Auslösevorgang wird also durch Schließen der Arbeitskontakte von Sekundärrelais oder anderen Steuerorganen erreicht. Hierfür ist eine vom Netz unabhängige Stromquelle, also eine Akkumulatorenbatterie oder der Anschluß an ein fremdes Netz notwendig. Die Schalterwelle muß dabei mit einer Kontaktvorrichtung versehen werden, die den Magnetstrom nach vollendetem Schaltvorgang unterbricht, um Funkenbildung an den Kontakten des dazugehörigen Sekundärrelais zu verhüten.

2. Ruhestrom.

Bei Ruhestromschaltung ist der Auslöser betriebsmäßig vom Strom durchflossen, so daß der Auslösevorgang durch das Öffnen der Ruhekontakte von Sekundärrelais oder anderen Steuerorganen bewirkt wird. Liegt der Auslöser über Spannungswandler an der eigenen Netzspannung, so arbeitet er zugleich als Spannungsrückgangsauslöser und bewirkt ein Auslösen beim Sinken der Spannung unter 60% des Nennwertes. Um bei kurzzeitigen Spannungsabsenkungen ein Auslösen zu vermeiden, ist es zweckmäßig, eine Verzögerung vorzusehen. Erfolgt der Anschluß des Spannungsrückgangsauslösers hinter dem Ölschalter, so muß der Auslöser mit einer Anhebevorrichtung versehen werden, die das Einschalten bis zur Berührung der Kontakte im Schalter ermöglicht, bevor der Magnetkern für die Auslösung freigegeben wird.

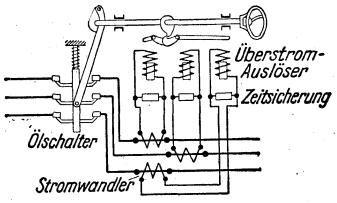


Bild 89. Schaltbild für Stromwandlerauslösung mit Zeitsicherungen.

3. Wandlerstrom.

Stromwandlerauslöser erhalten entweder sofort wirkende Überstrommagnete für zwei- oder dreiphasige Auslösung oder einen besonders ausgebildeten Schalter mit abhängig verzögerten Wärmeauslösern mit magnetischer Kurzschluß-Schnellauslösung in allen drei Phasen. Stromwandler und Auslösespule bilden einen geschlossenen Stromkreis. Zur Erzielung einer Zeitverzögerung können Sekundärrelais oder Schmelzsicherungen verwendet werden, durch die die Auslösespule der sonst sofort wirkenden Überstrommagnete im gewöhnlichen Betrieb kurzgeschlossen wird. Bei Auftreten eines Überstromes wird durch Ansprechen des Sekundärrelais oder durch Schmelzen der Sicherungen dem Strom der Weg durch die Auslösespule freigegeben. Durch entsprechende Wahl von Sicherungen kann die Auslösezeit in weiten Grenzen geändert werden.

Diese Stromwandlerauslösung, die hinsichtlich Genauigkeit der Arbeitsweise der Primärauslösung gegenüber keine Vorzüge aufweist, wird zweckmäßig nur dann anzuwenden sein, wenn geeignete Stromwandler (z. B. für Meßzwecke usw.) ohnehin vorhanden sind (Bild 89).

b) Getrennt vor der Schaltwand angeordneter Auslöser.

Es besteht noch die Möglichkeit, das Auslöseorgan vom Schalter zu trennen. Es können nämlich die unter 2a genannten Auslöserarten in einem besonderen blech-

gekapselten Gerät vor der Schaltwand angeordnet werden, in das auch die Freiauslösung mit eingebaut wird (Bild 90).

C. Ein- und Ausschalten durch Fernschaltgeräte.

Die Betätigung der Ölschalter durch Fernschaltgeräte zum Ein- und Ausschalten gestattet die völlige Trennung der Hoch- und Niederspannungs-Schaltgeräte und macht den Einbau der Ölschalter unabhängig von der Lage der Schalttafel. Für die Wahl der Geräte ist neben der Bauform des Ölschalters vor allem die zur Verfügung stehende Betätigungsstromart (gegebenenfalls Druckluft) maßgebend. Die Geräte haben stets eingebaute Freiauslösung und sind deshalb auch nicht verwendbar für Ölschalter mit Primärauslösern, wirkend auf Freiauslösung. Sie werden getrennt vom Ölschalter an die Schaltwand angebaut bzw. im Bedienungsgang aufgestellt. Zum Ausgleich geringer Einbauungenauigkeiten wird die Verbindung mit dem Ölschalter durch eine Gelenkkupplung hergestellt. Die Fernsteuerung geschieht durch Betätigungsschalter, jedoch ist z. B. bei Ausbleiben der Betätigungsspannung auch eine unmittelbare Einschaltung von Hand durch Anstecken eines besonderen Schalthebels bzw. einer Handkurbel möglich.

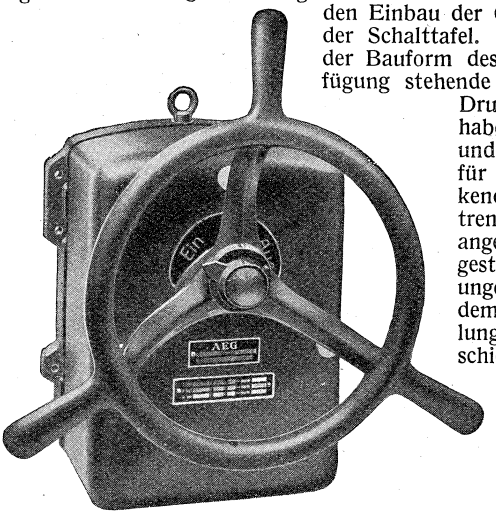


Bild 90. Sekundärauslöser für Anbau auf der Schaltwand.

Die Ausschaltung erfolgt bei allen Fernschaltgeräten durch eingebaute Auslöser, wirkend auf die Verklinkung der Freiauslösung. Die Auslöser können in Arbeitsstrom- und Ruhestromschaltung angeschlossen werden. In Ausnahmefällen kann die Ausschaltung durch Niederdrücken eines am Gehäuse angebrachten Druckknopfes erfolgen.

Man unterscheidet:

Fernschaltmagnet	=	Einschaltung durch einen Gleichstrommagneten,
Motorantrieb	=	Einschaltung durch einen Motor,
Kraftspeicher	=	Einschaltung durch Federn, die durch einen Motor geringer Leistung gespannt werden,
Druckluftantrieb	=	Einschaltung durch einen Druckluftzylinder.

a) Fernschaltmagnete.

Diese Art der Fernschaltung wird nur mit einem Gleichstrommagnet ausgeführt und kann daher nur dort verwendet werden, wo eine unabhängige Gleichstromquelle ausreichender Größe zur Verfügung steht. Ein Zwischenschütz dient zur Unterbrechung des Erregerstromes für den Einschaltmagneten, nachdem der Ölschalter selbst durch eine Halteklinke gesperrt worden ist. Sämtliche Geräteteile einschließlich Freiauslösung, Steuervorrichtung und Zwischenschütz sind in einem gußeisernen wasserdichten Gehäuse untergebracht und somit auch für die Verwendung im Freien geeignet (Bild 91).

b) Motorantrieb.

Der Motorantrieb wird zur Aufstellung in Innenräumen geeignet ausgeführt und kommt besonders für die Fälle in Betracht, in denen nur Drehstrom zur Verfügung steht. Er ist aber auch für Gleichstrom ausführbar. Dieses Gerät kann für die normalen Ölschalter bis 10 kV Betriebsspannung verwendet werden.

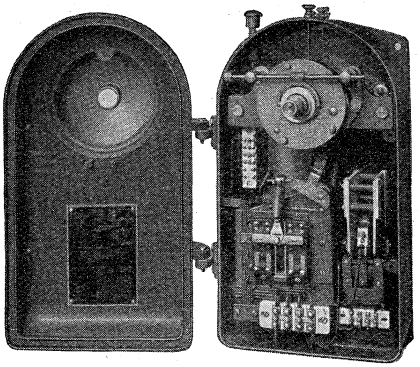


Bild 91. Gleichstrom-Fernschaltmagnet.

c) Kraftspeicher.

Beim Federkraftspeicher werden die Federn über einen Schneckentrieb durch einen Motor gespannt, der zum Anschluß an Gleichstrom oder Drehstrom ausgelegt werden kann. Er kommt hauptsächlich für Anlagen großer Leistungen in Frage, und zwar in den Fällen, in denen Ferneinschaltung der Ölschalter verlangt wird, jedoch für die Betätigung nur Stromquellen geringer Leistung zur Verfügung stehen. Zur Einschaltung des Ölschalters dient ein Einschaltmagnet, der die Halteklinke des Federregisters löst, so daß die gespeicherte Kraft der gespannten Federn das Einschalten mit hoher Schaltgeschwindigkeit bewirkt.

Alle Antriebsteile sind in einem auf dem Boden stehenden Gehäuse untergebracht, das auch in Freiluftausführung geliefert werden kann. (Bild 92).

d) Druckluftantrieb.

Die durch Druckluft betätigten Fernschaltgeräte ermöglichen einen einfachen und besonders anpassungsfähigen Betrieb. Der durch Druckluft beaufschlagte Druckluftkolben drückt den Schalter in die Einschaltstellung, wo er durch eine Halteklinke gesperrt wird.

Das Einschaltventil kann sowohl elektrisch durch einen Magneten, als auch von Hand mittels Druckknopf betätigt werden. Die Auslösung erfolgt durch Arbeits- oder Ruhestromauslöser oder ebenfalls von Hand mittels Druckknopf.

Für die Luftleitungen genügen im allgemeinen Rohre von 13 mm lichter Weite und 17 mm Außendurchmesser.

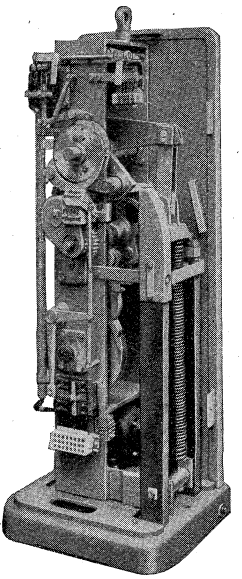


Bild 92. Federkraftspeicher.

Bedienungsvorschriften.

Allgemeines.

1. Sofort nach Eintreffen sind die Verpackung und die etwa vorhandene innere Arretierung zu entfernen. Der Schalter ist zu reinigen und auf Beschädigungen, die durch den Versand entstanden sein könnten, zu untersuchen. Alle Schrauben müssen fest angezogen sein. Der Kontaktdruck ist nachzuprüfen.

Nicht angestrichene Teile an Antriebsgestängen, Freiauslösung und dgl. sind, um ein Rosten zu vermeiden, sofort mit einem säurefreien Fett oder Öl leicht einzufetten.

2. Der Ölschalter ist nach der Untersuchung sofort mit Öl zu füllen. Bei Schaltern, die mit einem Teil ihrer Ölfüllung verschickt werden, ist der Rest sofort nachzufüllen. Diese Vorschrift gilt auch dann, wenn der Schalter nicht sofort in Betrieb genommen wird.

Die erforderliche Menge Öl ist erreicht, wenn der Schwimmer des Ölstandsanzeigers auf der Marke des Schauglases steht.

3. Das verwendete Öl muß den „Vorschriften für Transformatoren- und Schalteröle" VDE 0370 entsprechen, soweit sich diese auf Schalteröle beziehen.

Ist das Öl durch häufiges Schalten dickflüssig und schwarz geworden, so ist es zu erneuern.

Schaltereinbau.

4. Jeder Schalter trägt ein Bezeichnungsschild, auf dem die Fabriknummer, höchstzulässige Betriebsspannung und höchstzulässiger Betriebsstrom (ohne Rücksicht auf etwaige Auslösespulen), Ausschaltleistung und Einschaltstrom angegeben sind. Der Schalter darf nur gemäß den Angaben des Bezeichnungsschildes verwendet werden. Der auf dem Bezeichnungsschild angegebene Betriebsstrom darf nicht dauernd überschritten werden.

5. Die Zusammengehörigkeit der Schalter, Antriebe und Antriebsteile ist nachzuprüfen.

6. Schalter mit Fern- bzw. Kraftantrieben erhalten einstellbare Kupplungen, welche zum Nachjustieren der „Ein"stellung am Montageort dienen.

Nach erfolgter Einstellung sind alle Kupplungsorgane gegen unbeabsichtigtes Lockern mittels der Gegenmuttern und dgl. gut zu sichern.

7. Bei Lagerung der Antriebswelle in der Schaltwand, bei Wellenverlängerungen, bei Kupplung mit Auslösegeräten, Fernantrieben, Kettenantrieben, Gestängeantrieben oder dgl. ist immer darauf zu achten, daß keine Klemmungen eintreten, so daß der Schalter in jedem Fall leicht und frei ausschalten kann.

8. Gasabzugrohre, zum Anschluß an das seitlich am Deckel befindliche Anschlußknie, sind zweckmäßig aus der Zelle herauszuführen.

9. Ölschalter auf Rollen oder mit Fahrgestell müssen unbedingt in der Schaltzelle gegen Lagenänderungen, die durch Erschütterungen beim Schalten bewirkt werden können, durch Befestigung gesichert werden.

10. Die Anschlüsse müssen mit ihrer ganzen Gewindelänge fest auf den Durchführungsbolzen aufgeschraubt sein. Alsdann sind die Gegenmuttern bzw. Klemmschrauben fest anzuziehen.

11. Jeder Schalter ist vorschriftsmäßig über die vorhandene Erdschraube zu erden.

Primärauslöser.

12. Bei Schaltern mit direkter Überstromauslösung werden die Primärauslöser beim Versand von den Durchführungen abgeschraubt und getrennt verpackt. Die Druckstange bleibt am Auslöser hängen. Die zusammengehörigen Teile sind numeriert.

Bei dem Aufbau der Auslöser auf die Träger ist darauf zu achten, daß die Druckstangen die richtige Lage zu ihren Befestigungsgabeln auf der Welle haben.

Nach dem Zusammenbau überzeuge man sich durch Hochheben des Ankers bis zu einem Anschlag im Auslöser, ob die Druckstange die richtige Länge hat, um den Schalter auszulösen. Dabei ist zu beachten, daß die Stange so eingestellt sein muß, daß die Auslösung erst ganz kurz vor dem Anschlag des Ankers erfolgt.

Der auf den Primärauslösern angegebene Nennstrom darf nicht dauernd überschritten werden.

13. Die Primärauslösertype „SA" (abhängig) und ‚SBA' (begrenzt abhängig) haben getrennte Strom- und Zeiteinstellungen. Die Einstellung erfolgt durch die beiden seitlich vorstehenden Trommeln. Die Stromeinstellung wird normal vom 1,4—2fachen des Nennstromes des Auslösers justiert. Die Nennstromstärke ist auf den Kurvenschild angegeben. Die Zeiteinstellung bei SA-Auslösern wird bei 2fachem

Nennstrom vorgenommen und auf der Trommel markiert. Diese Markierungen bedeuten die Bezugspunkte auf dem Kurvenschild. Bei SBA-Auslösern wird die Grenzzeit, die beim 4fachen Nennstrom eintritt, markiert. Sie ist einstellbar von 2 ... 10 s. Die Charakteristiken der beiden Auslöser gehen aus den Kurvenschildern hervor.

14. Die Primärauslöser Type „MDu" (unabhängig) haben ebenfalls getrennte Strom- und Zeiteinstellung. Die Einstellung erfolgt durch unterhalb der Skala angebrachte Schneckentriebe, die durch einen Spezialschlüssel betätigt werden. Die normalen Einstellungen sind: Stromeinstellung vom 1,4- bis 2fachen Nennstrom, Zeiteinstellung von 0...10 s.

Bedienung.

15. Die normale Einschaltrichtung ist Linksdrehung (entgegen dem Uhrzeiger).

Die Schalterstellung wird angezeigt:

a) bei Schaltern für Handbetätigung mit Freiauslösung am Schalterdeckel, durch den am Handrad befindlichen Zeiger, der entsprechend einzustellen ist. Bei Vorhandensein von Kegelrädern oder Kettenantrieben durch Signallampen, die durch eine von der Schalterwelle angetriebene Kontaktvorrichtung geschaltet werden;

b) bei allen Schaltern für Handbetätigung mit gekapselten Auslösern vor der Schaltwand durch den am Handrad befindlichen Zeiger;

c) bei allen Schaltern mit Antriebsgeräten durch den hinter dem Schauglas sichtbaren roten Strich auf der Stirnfläche der Antriebswelle;

d) bei allen Schaltern durch eine von der Rückseite des Schalters, an der Schalterwelle angebrachte, sichtbare Anzeigevorrichtung.

16. Ölschalter müssen schnell aus- und eingeschaltet werden.

17. Das Schalten von Hand wird nur zugelassen, wenn der Einschaltstrom 30000 A (Scheitelwert) nicht überschreitet.

Untersuchung.

18. Das Absenken der Ölkessel kann erst nach Lösung der Tragstangenmuttern vorgenommen werden. Bei den Schaltern mit Kesselsenkwinde kann die Winde nach Waagerechtstellung des unterhalb der Winde befindlichen Sperrhebels abgenommen und auch für andere Schalter gleicher Ausführung verwendet werden.

Beim Aufsetzen der Winde ist unbedingt darauf zu achten, daß der unterhalb der Winde befindliche Sperrhebel wieder in Senkrechtlage gestellt wird.

Vor dem Wiederanziehen der Tragstangenmuttern muß auf guten Zustand und richtige Lage der Abdichtung in der Deckelfuge geachtet werden.

19. Je nach Inanspruchnahme des Schalters sind die Kontakte von Zeit zu Zeit nachzusehen. Etwa angebrannte Kontakte sind rechtzeitig zu erneuern.

Die angegebene Nennausschaltleistung wird vom Schalter entsprechend den Vorschriften des VDE 0670/1937 abgeschaltet. Die Kontakte sind nach Abschalten eines starken Kurzschlusses nachzusehen.

20. Lagerstellen von Wellen, Bolzen und dergleichen sind von Zeit zu Zeit mit gutem Öl leicht zu ölen. Ungestrichene Teile in Antrieben, Freiauslösungen und dergleichen sind von Zeit zu Zeit mit säurefreiem Öl oder Fett leicht einzufetten.

21. Nach etwa 10000 Schaltungen ist eine gründliche Untersuchung auf Ersatz aller dem Verschleiß unterliegenden Teile vorzunehmen.

22. Bei Bestellung von Ersatzteilen sind die auf dem Leistungsschild enthaltenen Angaben mitzuteilen sowie möglichst Muster oder Skizze einzusenden. Als wichtigste Ersatzteile kommen in Frage

obere und untere Klotzkontakte,
Lamellenkontakte und Kontaktmesser,
Durchführungen mit Bolzen und Armaturen oder der Porzellanisolator allein.
Spulen für Auslöser.

Schutzrelais für Leistungsschalter.

In diesem Teil sollen Schutzrelais beschrieben werden, die an die Unterspannungsseite von Strom- und Spannungswandlern angeschlossen werden und die eine wesentlich feinere Einstellung der Auslösung ermöglichen als die vorher genannten Schutzeinrichtungen. Sie steigern die Betriebssicherheit elektrischer Anlagen und führen damit zu ihrer besseren wirtschaftlichen Ausnutzung. Ihre Bedeutung für die elektrischen Betriebe wird dadurch gekennzeichnet, daß es ohne sie nicht möglich ist, Kraftwerke und Verteilungsnetze zu großen Stromversorgungsanlagen zusammenzufassen. Besondere Vorzüge der Relais sind kleiner Leistungsverbrauch, große Zeitgenauigkeit, hohe Belastbarkeit und die Möglichkeit, die Einstellung von Strom und Zeit auch während des Betriebes ändern zu können. Die Schutzrelais schließen den Stromkreis der Auslösespulen von Auslöse- und Fernschaltmagneten, Kraftspeichern oder Druckluftantrieben, die den Leistungsschalter im Falle einer Gefahr zur Abschaltung bringen. Die wichtigsten Arten der Schutzrelais für Drehstrom- und Wechselstromanlagen und das Anwendungsgebiet derselben sind in der nachfolgenden Tafel 19 übersichtlich zusammengestellt. Schutzeinrichtungen für Sonderzwecke sind hier nicht mit aufgenommen.

Tafel 19. Die wichtigsten Schutzformen der Relais.

Schutz gegen	Pos.	Anwendung	Relaisform
Überstrom und Unterspannung	1	Für den Schutz von Maschinen und Netze, in Verbindung mit Zeitrelais, gegen Überstrom und Kurzschluß, und für unverzögerte Auslösung von Schaltern	RS / RS f
	2	Für unverzögerte Auslösung von Schaltern, im Falle von Abfall oder Ausfall der Netzspannung, auch für verzögerte Auslösung in Verbindung mit Zeitrelais Typen RZ f oder RZ k	RU RU f
	3	Für Schutzsysteme in Verbindung mit Überstromrelais Type RS/RS f, wo abgestufte Zeiteinstellungen benötigt werden, und für verzögerte Schließung von Hilfsstromkreise für Alarmzwecke usw.	RZ f RZ k
	4	Für unabhängige Auslösung von Schaltern im Falle von Kurzschluß und Überstrom, besonders in nichtvermaschten Netzen, wo Zeitabstufung benötigt wird, weiter für den Schutz von Generatoren und Umspannern	RSZ 2f / RSZ 3f RSZ 2w RSZ 3w
	5	Als Kurzschluß und Überstromschutz (abhängig) für Speiseleitungen, Umspanner und Motoren	RSZ a RSZ a w RSZ 2t / RSZ 3t
Rückleistung	6	Für Auslösung von Schaltern, wenn eine bestimmte Leistung überschritten wird oder wenn die Leistungsrichtung umgekehrt wird	RR 2
Erdschlußmeldung	7	Für die Meldung von Erdschlüssen durch ein getrenntes Lichtzeichen und ein Tonzeichen durch Überwachung der Nullpunktspannung ohne Kennzeichnung des erdgeschlossenen Leiters	RE

Bedeutung der Formzeichen: R (als erster Buchstabe) Relais / A Melde-(Anzeige) / E Erdschluß / H Hilfs- / R Richtungs- / S (Strom) Überstrom- / U (Spannung) Unterspannungs- / Z Zeit- / a abhängig / b begrenzt abhängig / f Fein- / w für Wandlerstromauslösung / 2,3 (vorangestellt) Anzahl der Relais je Satz / 2,3 (nachgestellt) zweipolig, dreipolig

Das in der letzten Spalte dieser Tafel angeführte Relais ist ein Melderelais für Erdschlüsse. Letztere gehören zu den in Hochspannungsnetzen am häufigsten auftretenden Fehlern. Es ist daher wichtig, Erdschlüsse unverzüglich zu erkennen und zu beseitigen. Dabei ist es nur in seltenen Fällen notwendig, den betroffenen Anlageteil sofort außer Betrieb zu nehmen. In der Regel genügt eine Fehlermeldung, weil durch Erdschluß-Löscheinrichtungen (Petersen-Spulen) dafür Sorge getragen ist, daß an der Erdschlußstelle der Erdschlußstrom auf den für die Anlage unschädlichen Wert herabgedrückt wird.

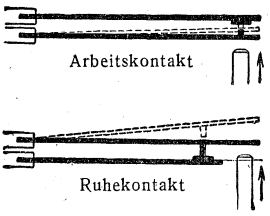


Bild 93. Kontaktarten der Relais.

Die Kennzahlen und sonstige Angaben über vorstehende Schutzrelais sind in Tafel 20 enthalten. Die Angaben beziehen sich auf die Frequenz 50. Der Leistungsverbrauch gilt für die Ruhestellung der Relais. Die Kontakte werden als Arbeits- oder Ruhekontakte ausgeführt (Bild 93). Arbeitskontakte werden beim Ansprechen des Relais geschlossen; Ruhekontakte geöffnet. Die Schaltstücke, die zumeist aus Reinsilber bestehen, bedürfen keiner besonderen Pflege, da auch das Silberoxyd ein guter elektrischer Leiter ist. Die Relais haben ein staub- und tropfwassersicheres, mattschwarz lackiertes zweiteiliges Stahlblechgehäuse. Die Kappen können nach Lösen von 2 bzw. 4 unverlierbaren Schrauben leicht entfernt werden. Der Kappenfalz ist zur Dichtung mit einer Baumwollschnur ausgelegt. Die Gehäuse eignen sich für Aufbau auf senkrechte Tafeln oder Gerüste und können mit vorder- oder rückseitigen Anschluß ausgeführt werden. Gehäusekappe und Klemmenkappe sind plombierbar. Bei Bestellung der Relais sind anzugeben:

1. Form,
2. Pl.-Nummer,
3. Betriebsspannung bzw. Betriebsstrom, Hilfsspannung,
4. Stromart und Frequenz,
5. Einstellbereich,
6. Anzahl und Art der Kontakte (Arbeits- oder Ruhekontakte),
7. Ausführung für Aufbau oder Einbau; bei Einbau auch Stärke der Schaltwand,
8. Ausführung für vorderseitigen oder rückseitigen Anschluß,
9. Zubehör,
10. Ausführung des Bezeichnungsschildes.

Bei der Auswahl der zugehörigen Strom- und Spannungswandler ist der Abschnitt „Meßwandler“ Seite 133 zu beachten.

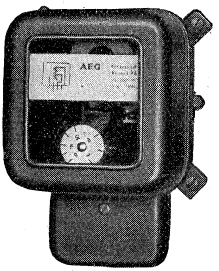


Bild 94. Überstromrelais RS. Unterspannungsrelais RU.

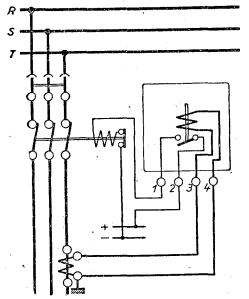


Bild 94a. Schaltung RS.

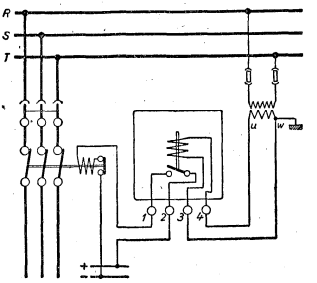


Bild 94b. Schaltung RU.

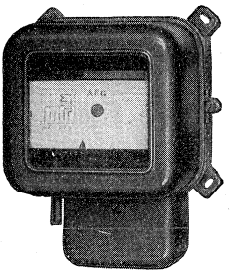


Bild 95. Überstromrelais RSf, Unterspannungsrelais RUf.

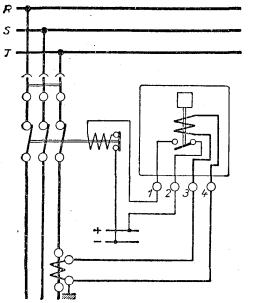


Bild 95a. Schaltung RSf.

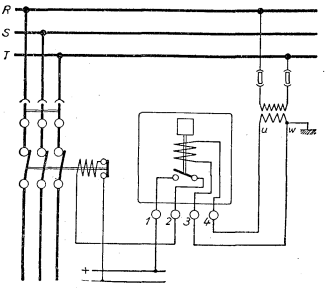


Bild 95b. Schaltung RUf.

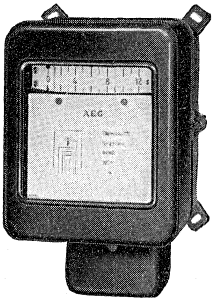


Bild 96.
Feinzeitrelais RZf.

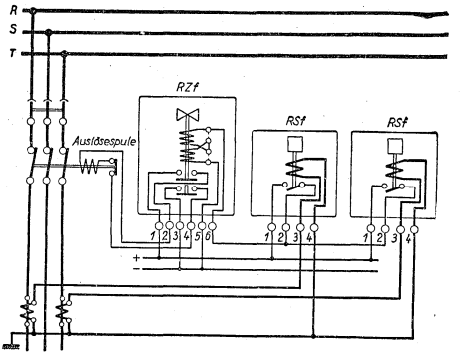


Bild 96a. Schaltung RZf in Verbindung mit 2 Überstromrelais RSf

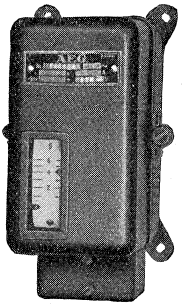


Bild 97.
Kurzzeitrelais RZk.

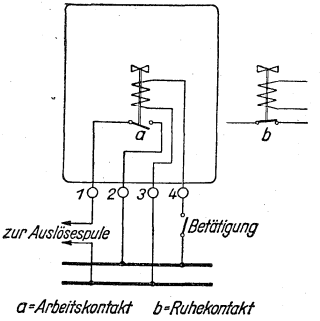


Bild 97a. Schaltung RZk.

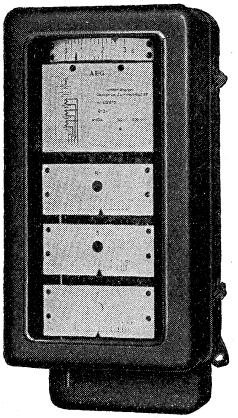


Bild 98. Unabhängiges Überstrom-Zeitrelais RSZ 2f/3f.

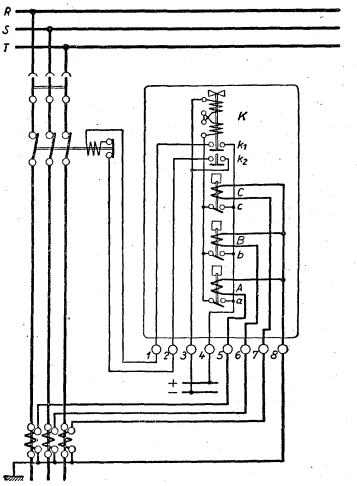


Bild 98a. Schaltung RSZ 3f.

A, B, C Überstrom-Anregeglieder
K Zeitglied

a, b, c Kontakte der Überstrom-Anregeglieder
k_1 Hauptkontakt des Zeitgliedes
k_2 Hilfskontakt des Zeitgliedes

Bei Form RSZ 2f fallen das Überstrom-Anregeglied B und der Stromwandler des Leiters S fort.

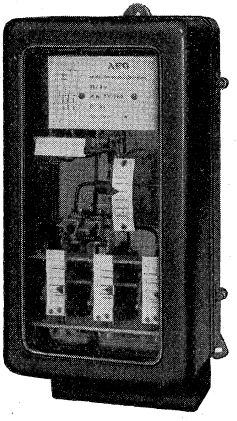


Bild 99. Unabhängiges Überstrom-Zeitrelais RSZ 2w/3w.

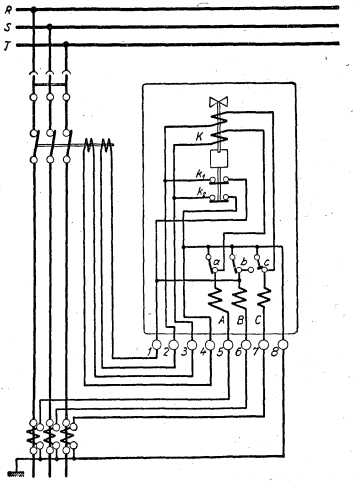


Bild 99a. Schaltung RSZ 3w.

A, B, C Überstrom-Anregeglieder
K Zeitglied

a, b, c Kontakte der Überstrom-Anregeglieder
k_1, k_2 Kontakte des Zeitgliedes

Bei Form RSZ 2w fallen das Überstrom-Anregeglied B, der Stromwandler des Leiters S, die zweite Spule des Zeitgliedes und die zweite Auslösespule am Leistungsschalter fort.

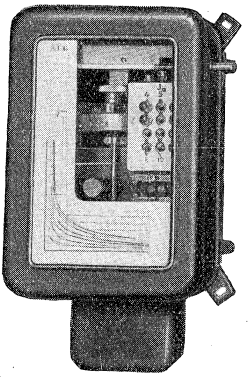


Bild 100. Abhängiges Überstrom-Zeitrelais RSZa.

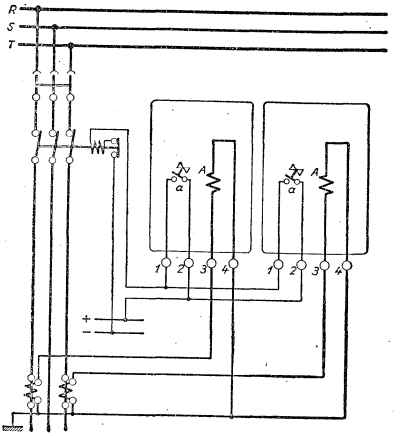


Bild 100a. Schaltung RSZa.
A Relaismagnet, a Relaiskontakt.

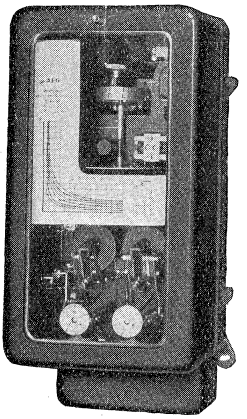


Bild 101. Abhängiges Überstrom-Zeitrelais RSZ 2aw.

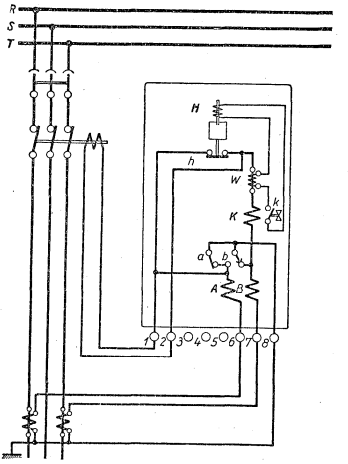


Bild 101a. Schaltung RSZ 2aw.
W Hilfswandler. a, b, h, k von A, B, H bzw. K betätigte Kontakte.

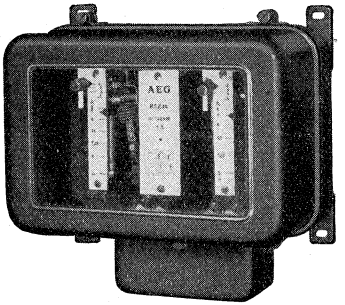


Bild 102. Thermisches Überstrom-Zeitrelais RSZ 2t.

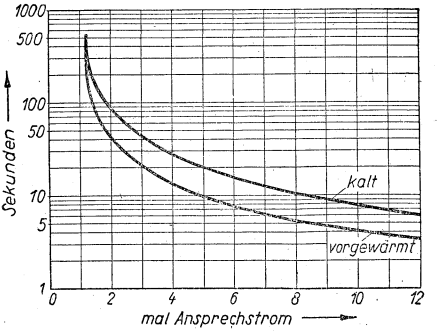


Bild 102a. Auslösekennlinie RSZ 2t.

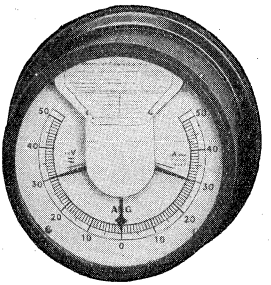


Bild 103. Leistungsrichtungs-Relais RR 2.

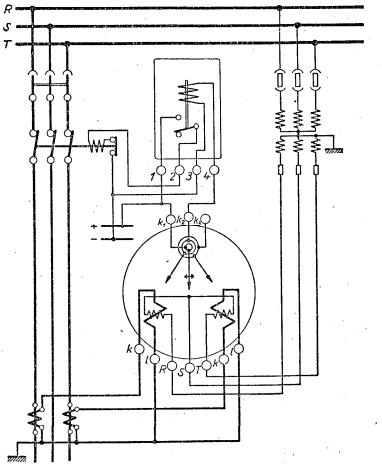


Bild 103a. Schaltung RR 2.



Bild 104. Erdschluß-Melderelais RE.

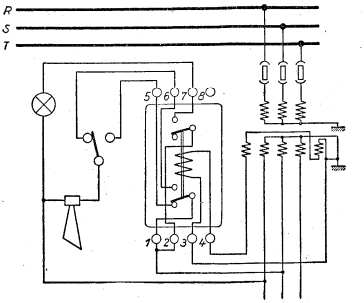


Bild 104a. Schaltung RE.

Tafel 20. Kennzahlen der Schutzrelais.

Pos.	Relais	Form	Abb.	Ausführung	Polzahl	Kontakte	Nennstrom od. Spannung	Einstellung	Leistungsverbrauch in VA
1	Überstromrelais, sofort wirkend	RS	1	elektromagnetisch	1	1 Arbeits- oder Ruhekontakt	5 A	6—10 A	6,5 VA bei 5 A
		RS f	2		1			4—10 A	2,4 VA bei 5 A
2	Unterspannungs-relais sofort wirkend	RU	1	elektromagnetisch	1	1 Arbeits- oder Ruhekontakt	110 V Ws	50—70 V	12 VA bei 110 V
		RU f	2		1			40—100 V	7 VA bei 110 V
3	Fein-Zeit-Relais	RZ f	3	elektromagnetisch mit Laufwerk	—	1 Arbeitskontakt	bis 250 V Gs	0,4— 3 Sek. 0,5— 6 Sek. 1 —12 Sek.	20 W
	Kurz-Zeit-Relais	RZ k	4			1 Arbeits- oder Ruhekontakt	bis 250 V Gs oder 380 VWs	0— 2 Sek. 0— 6 Sek. 0—20 Sek.	14 W oder 40 VA
4	Unabhängiges Überstrom-Zeit-Relais	RSZ 2f RSZ 3f	5	elektromagnetisch Gs-Auslösung	2 3	1 Arbeitskontakt	5 A bis 250 V Gs (Zeitverzögerungsspule)	Strom 4—10 A Zeit 0,4—3 Sek. 0,5—6 Sek. 1 —12 Sek.	2,4 VA je Phase 20 W (Zeitverzögerungsspule)
		RSZ 2w RSZ 3w	6	elektromagnetisch Stromwandlerauslösung	2 3	1 oder 2 Ruhekontakte	5 A	Strom 6,5—10 A Zeit 0—5 Sek.	6,5 VA je Phase bei 5A
5	Abhängiges Überstrom-Zeit-Relais	RSZ a	7	Gs-Auslösung	1	1 Arbeits- oder Ruhekontakt	5A bis 250V	4, 5, 6 A 8, 10, 12	5 VA bei 5 A
		RSZ 2aw	8	Wandlerstrom-Auslösung		1 Ruhekontakt	5 A		6,5 VA bei 5 A
		RSZ 2t RSZ 3t	9	Gs-Auslösung		1 Arbeits- oder Ruhekontakt	5 A	4—8 A	5 VA je Phase bei 5 A
6	Leistungsrichtungs-relais	RR 2	10	2 Induktionstriebwerke in Zweiwattmeterschaltg.*		2 Arbeitskontakte	5 A; 110 V	über ganze Skala 5—100 % vom Skalenendwert	5 VA je Phase bei 5 A 11 VA je Triebwerk bei 110 V
7	Erdschlußmelde-relais	RE	11	elektromagnetisch		2 Umschaltkontakte	110 V	—	3 bis 25 VA

*) Dieses Relais muß mit einem Zwischenrelais RH 50 Pl.-Nr. 351100 verwendet werden.

Trennschalter.

Trennschalter dienen, wie der Name sagt, dazu, Anlageteile abzutrennen und damit stromlos zu machen. Es dürfen Arbeiten an Hochspannungsleitungen und Hochspannungsgeräten nur vorgenommen werden, wenn diese allseitig durch Trennschalter abgetrennt und geerdet sind.

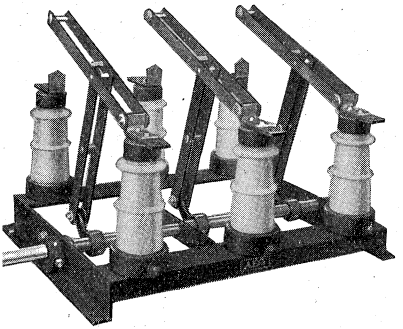


Bild 105. Dreipoliger Trennschalter mit Linienkontakten.

Trennschalter bestehen im wesentlichen aus drehbar auf Isolatoren angeordneten Messern und haben eine sichtbare Trennstelle. Sie dürfen nur in unbelastetem Zustand betätigt werden, können jedoch den Leerlaufstrom kleiner Umspanner und kurzer Kabelstücke abschalten.

Bei den neuesten Bauformen werden die Trennschalter mit Linienkontakten ausgeführt, die bei hohem Anpressungsdruck eine gute Selbstreinigung gewährleisten. Bei Nennströmen über 2000 A werden sie in schleifenloser Ausführung hergestellt, um ein Selbstöffnen der Trennmesser bei Kurzschluß zu vermeiden.

Die Trennschalter werden ein- und dreipolig zur Betätigung mittels Schaltstange ausgeführt (Bild 105). Meist werden jedoch die dreipoligen Schalter mit einem Steigbügelantrieb oder mit Fernantrieb versehen. Um zu verhindern, daß sie unter Last geschaltet werden, kann man sie durch einen Sperrmagneten mit dem zugehörigen Leistungsschalter verriegeln (s. Seite 205).

Sicherungen für Hochspannung.

Das Anwendungsgebiet der Sicherungen sind kleinere Anlagen oder Anlageteile z. B. Spannungswandler, in denen der Einbau von Leistungsschaltern zu kostspielig sein würde und wo Leistungstrennschalter oder vorhandene Leistungsschalter den auftretenden Ausschaltleistungen nicht gewachsen sind.

Sicherungen können für kleinere und mittlere Ausschaltleistungen als Blassicherungen Form HA ausgeführt werden, für größere Ausschaltleistungen als geschlossene Sicherungen, Form HS. Diese bestehen aus einem mit einem Füllmittel versehenen Porzellanrohr, in dem der Schmelzleiter auf einen Träger aus hochhitzebeständigem Material aufgewickelt ist. Durchgeschmolzene HS-Sicherungen werden durch ein Energiekennzeichen kenntlich gemacht, das auch unter Kontaktgabe zur Auslösung von Schaltern verwendet werden kann.

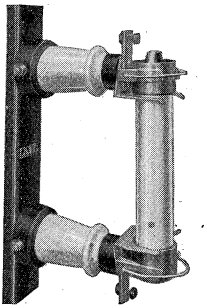


Bild 106. Hochleistungs-Sicherung Form HS.

Wegen der außerordentlich kurzen Abschaltzeiten lassen die HS-Sicherungen den Kurzschlußstrom nicht erst zur vollen Entwicklung kommen und schützen daher auch die Anlage vor den großen Beanspruchungen durch auftretende Kurzschlüsse. Sicherungen und Trennschalter können auch in einem Gerät vereinigt als Trennsicherungen ausgeführt werden.

Zum Auswechseln der Patronen dienen Isolierzangen, doch soll die Auswechslung nach Möglichkeit im spannungslosen Zustand erfolgen. Das Auswechseln durchgeschmolzener Schmelzleiter kann an Ort und Stelle nach besonderen Vorschriften vorgenommen werden.

Überspannungsableiter für Hochspannungsanlagen.

(SAW-Ableiter)

Die **SAW-Ableiter** dienen dazu, die durch Gewittereinflüsse verursachten Wanderwellen bei ihrem Eintreffen in die Station so weit abzusenken, daß Überschläge, Durchschläge und sonstige Schäden in der Anlage vermieden werden. Der SAW-Ableiter besteht aus einer Plattenfunkenstrecke mit einer Ansprechspannung etwa gleich der doppelten Nennspannung und aus in Reihe geschalteten Widerständen (Bild 107). Diese Widerstände haben die Aufgabe, den der Überspannung nachfolgenden Netzstrom auf einen solchen Wert zu begrenzen, daß ein selbsttätiges Löschen in der Funkenstrecke gewährleistet ist; andererseits müssen sie aber auch imstande sein, die von den Überspannungen herrührenden Ströme von vielen tausend Ampere störungsfrei abzuführen.

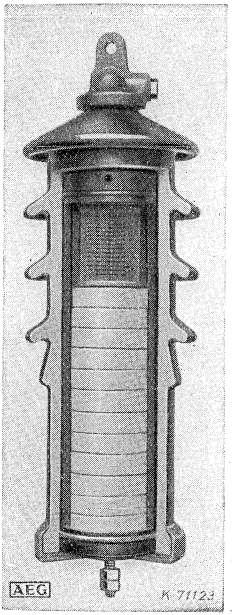
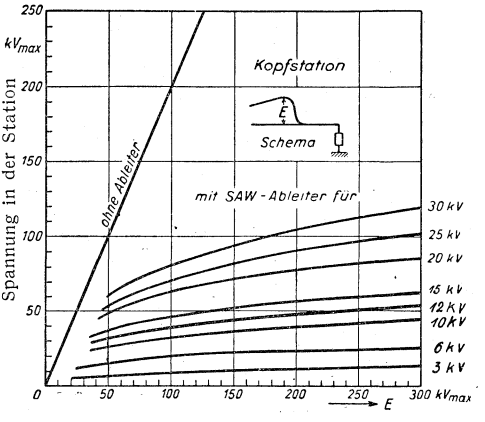


Bild 107.
SAW-Ableiter im Schnitt.

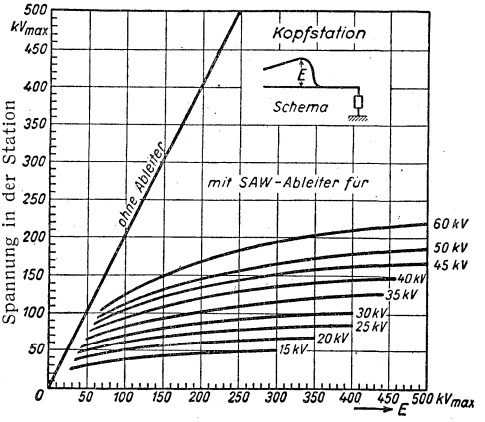
Diese Aufgabe kann durch die Verwendung von Widerständen (SAW-Material) erfüllt werden, die in hohem Maße spannungsabhängig sind, so daß die Stromaufnahme nicht verhältnisgleich, sondern mit einer höheren Potenz der Spannung ansteigt. Dieses spannungsabhängige Widerstandsmaterial hat dem Überspannungsableiter den Namen SAW-Ableiter gegeben.

Die Ableiter für **trockene Räume** sind in einem Gehäuse aus Hartpapier eingebaut. Die Ableiter für **feuchte Räume**



Wellenhöhe auf der Leitung.

Bild 108. Schutzkennlinien von SAW-Ableitern der kleinen Bauform in Kopfstationen.



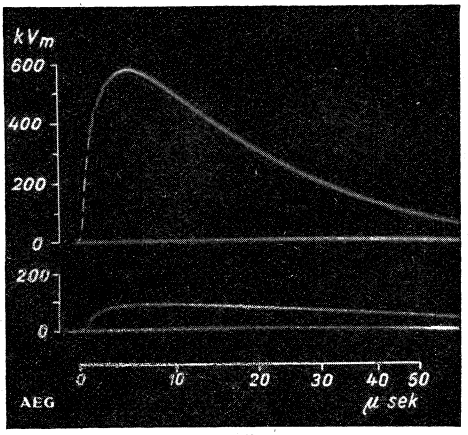
Wellenhöhe auf der Leitung.

Bild 109. Schutzkennlinien von SAW-Ableitern der großen Bauform in Kopfstationen.

Die Kennlinien gelten für einen mittleren Wellenwiderstand der Leitung von $Z = 500\ \Omega$. Kennlinien für Ableiter höherer Nennspannung auf Anfrage.

und für Aufstellung im Freien erhalten ein Porzellangehäuse. Gegen das Eindringen der Außenluft sind die Freiluftableiter durch eine zuverlässige Doppeldichtung geschützt; der feuchtigkeitsfreie Einschluß wird durch Füllung mit vorgetrockneter Luft gewährleistet. Die Bezeichnung dieses Ableiters erhält noch den Kennbuchstaben F (SAWF).

Aus den Schutzkennlinien (Bild 108 und 109) ist die durch SAW-Ableiter erreichte Spannungsabsenkung für Kopfstationen zu entnehmen. An einem Zahlenbeispiel soll der Schutzwert der SAW-Ableiter gezeigt werden.



Obere Kurve: Ohne Überspannungsschutz.
Untere Kurve: Mit 30-kV-SAW-Ableiter.

Bild 110. Spannungsabsenkung in einer 30-kV-Kopfstation.

Eine 30-kV-Kopfstation sei durch eine Freileitung gespeist, deren Isolatoren (z. B. 2 Vollkernisolatoren MK 2 in Reihe) eine Stoßüberschlagsspannung von 300 kV Scheitelwert haben. Es können also Wanderwellen bis zu 300 kV Höhe auf der Leitung entstehen (Abzisse in Bild 109). Ohne Ableiterschutz würde diese Spannung nochmals auf das Doppelte, also auf 600 kV Scheitelwert, reflektiert werden. Der eingebaute 30-kV-SAW-Ableiter bewirkt jedoch eine Absenkung bis auf 90 kV Scheitelwert (Ordinate bis zur Kurve „30 kV", Bild 109), d. h. also auf einen für die Station ungefährlichen Wert, da die Überschlagsspannung bei der angenommenen Spannung mindestens 95 kV beträgt.

Als Beleg für das gewählte Zahlenbeispiel diene Bild 110, welches oben die auf 600 kV reflektierte Welle ohne Ableiter, unten die durch den Ableiter abgesenkte Welle zeigt.

Die Ableiter sind möglichst nahe an der zu schützenden Anlage einzubauen und mit der Schutzerde der Station zu verbinden. Für einwandfreie Erde ist Sorge zu tragen. Längere Zuleitungen sowie Schleifenbildung sind zu vermeiden.

Ansprechzähler: Zur Feststellung der Häufigkeit des Ansprechens von SAW-Ableitern werden Ansprechzähler vorgesehen, die unmittelbar hinter dem Ableiter in dessen Erdleitung eingeschaltet werden, wobei die eigentliche Erdung erst hinter dem Ansprechzähler vorzunehmen ist.

Für die Wahl des richtigen Ableiters sind maßgebend:

1. Nennspannung und höchste vorkommende Betriebsspannung.
2. Netzart (Einphasen-, Zweiphasen-Wechselstrom, Drehstrom usw.).
3. Netzfrequenz.
4. Nullpunktzustand des Netzes (Betriebsdaten).
5. Aufstellungsort der Ableiter: im Freien oder in trockenen Innenräumen?
6. Isolatorenbauart (Überschlagsspannung) der Freileitung und der zu schützenden Station. Genaue Angaben sind erforderlich, da bei sehr hoher Isolation der Freileitungen unter Umständen eine Sonderauslegung der Ableiter notwendig wird.
7. Angabe, ob die Freileitung ausschließlich oder überwiegend mit ungeerdeten Holzmasten ausgerüstet ist.
8. Höhe über Meeresspiegel, falls über 1000 m.

Schutzerdungen in Schaltanlagen.

In Schaltanlagen für eine Betriebsspannung über 250 V sind Schutzerdungen erforderlich, die verhüten sollen, daß Metallteile, die betriebsmäßig keine Spannung führen, bei Übertritt der Betriebsspannung durch Kriechströme oder Lichtbögen eine dem Menschen gefährliche Berührungsspannung annehmen können.

Nach den Leitsätzen des VDE 0141, welche im vollen Umfange für die Schutzerdung maßgebend sind, soll diese Spannung 125 V gegen Erde nicht überschreiten. In feuchten Räumen und in chemischen Betrieben darf die Berührungsspannung höchstens den Wert von 40 V annehmen.

Teile, die geerdet werden müssen, sind:

Gehäuse von Maschinen, Umspannern, Meßwandlern und Geräten, Sekundärwicklungen der Meßwandler, soweit es die Schaltung erlaubt, Gerüste von Schaltanlagen, Durchführungsflansche, Isolatorenträger, Kabelarmaturen, Metallteile, welche betriebsmäßig mit den Händen umfaßt werden, wie Handräder, Hebel und Kurbeln von Schaltern, Schutzgitter, soweit nicht zwischen diesen und dem hochspannungführenden Leiter bereits eine geerdete Stelle vorhanden ist.

Schaltgeräte und Isolatoren, die in Eisengerüste oder Schaltschränke eingebaut sind, brauchen dann nicht **gesondert** geerdet zu werden, wenn die Verbindung der Einzelgerüste und der Geräte mit diesen eine sichere Erdverbindung gewährleistet. Erdanschlußstellen an Maschinen, Geräten und Gerüsten sind metallisch blank zu machen. Die Hochspannungs-Schutzerde ist von der Niederspannungserde zu trennen.

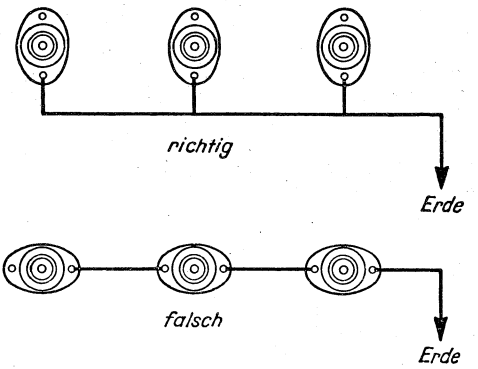


Bild 111. Richtige und falsche Anordnung der Erdung von Durchführungen.

In Bild 112 ist die grundsätzliche Anordnung der Erdleitungen in einer größeren Hochspannungs-Schaltanlage für Innenräume dargestellt. Es geht daraus hervor, daß bei mehrstöckigen Anlagen in jedem Stockwerk Erd-Sammelleitungen vorzusehen sind, die je nach der Größe der Anlage an einer oder mehreren Stellen durch Steigeleitungen mit den Erdern verbunden sind.

Die Verlegung der Erdleitungen in einer Hochspannungs-Freiluft-Schaltanlage ist in Bild 113 veranschaulicht. In diesen Anlagen wird man die Erdsammelleitung als Ringleitung entweder in vorhandenen Kabelkanälen verlegen, was den Vorzug der leichten Zugänglichkeit hat, oder man bettet sie in feinkörniges Erdreich etwa 0,5 m unter der Erde und benutzt sie dann gleichzeitig als Oberflächenerder (siehe unten). Grundsätzlich sind alle Einzelerdleitungen parallel an die Sammelleitungen anzuschließen. Reihenschaltungen von Einzelerdleitern müssen unbedingt vermieden werden, weil sie zu Unterbrechungen der Erdverbindung Anlaß geben können (Bild 111). Als Erdleitung wird meistens verzinktes Bandeisen verwendet. Die Querschnitte richten sich nach dem Umfang der Anlage bzw. nach der Größe des Erdstromes, der auftreten kann. Gebräuchliche Querschnitte für Einzelerdungen sind: 25×3, für Sammel- und Hauptleitungen 30×4 bzw. 40×5 mm.

Verbindungsstellen der Erdleitungen sind gegen Selbstlösen zu sichern. Wo Hartlöten oder Schweißen nicht angängig ist, sind die Schraubenstellen gegen Selbstlockern durch Federscheiben, Verkörnung usw. zu schützen.

Diese Verbindungsstellen sind ferner mit einer Farbe (Aluminiumbronze), welche die Oxydbildung verhindert, zu streichen.

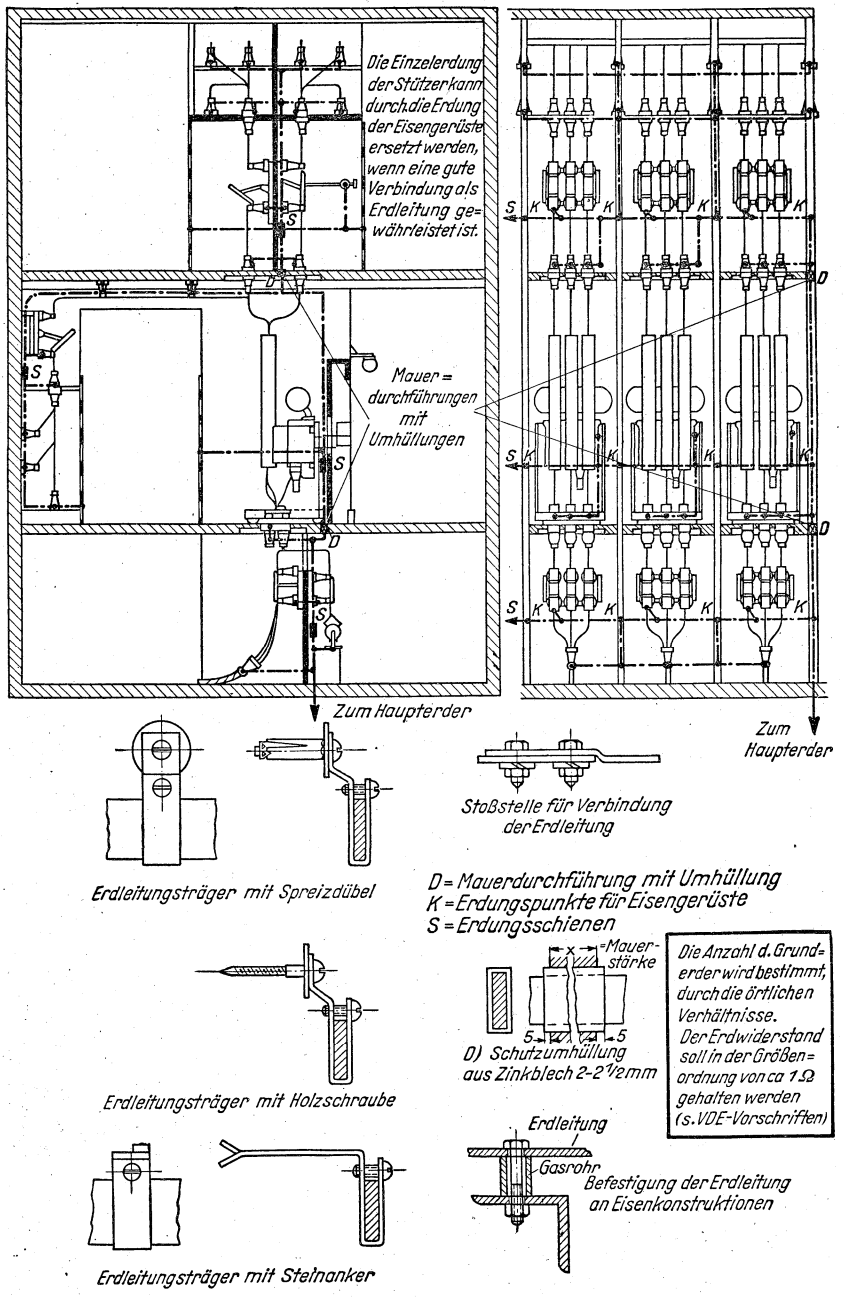


Bild 112. Schutzerdungen in einer Innenraum-Schaltanlage.

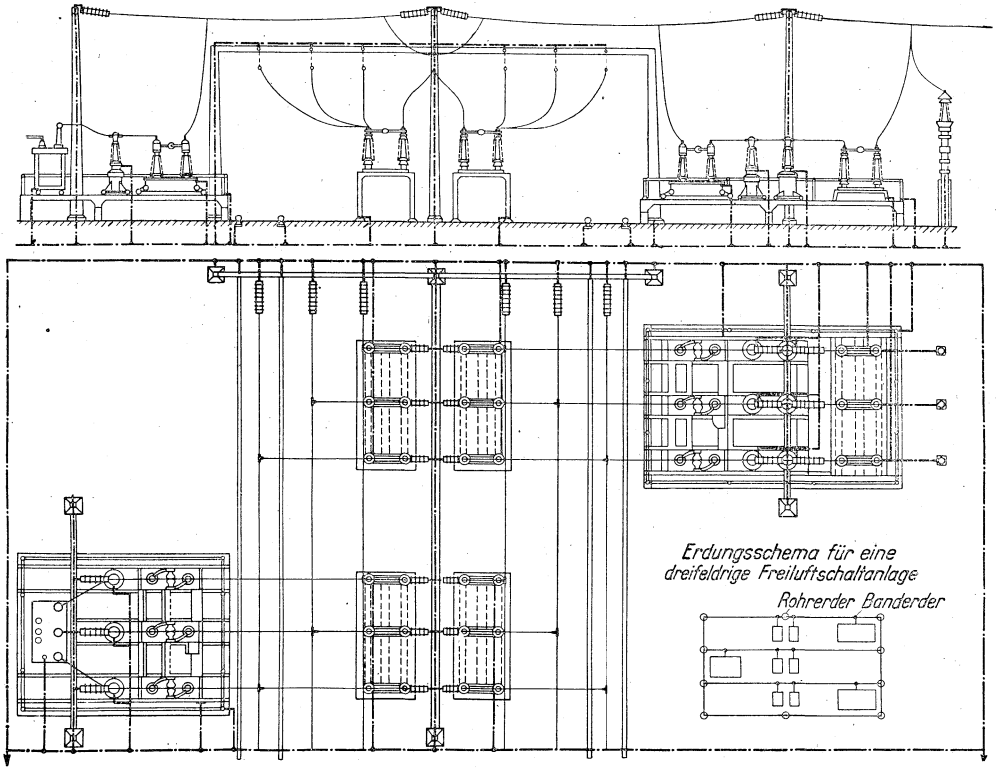


Bild 113. Schutzerdungen in einer Freiluftschaltanlage.

Verlegung der Sammel- und Banderder in etwa 0,8 m Tiefe

Hochspannungsgeräte, die auf Betonfundamenten stehen, sind direkt zu erden. Dasselbe gilt für Abspannketten und Stützisolatoren bei Verwendung von Betonmasten. In diesem Falle sind Erdleitungen längs der Betonkonstruktionen zu verlegen, an welche die Abspannketten parallel angeschlossen werden. Auch bei Eisenmasten ist eine flexible Erdverbindung von der Abspannkette zur Eisenkonstruktion vorzusehen.

Alle Erdleitungen sind als solche durch einen Farbanstrich (siehe Seite 157) zu kennzeichnen.

Der elektrische Erdwiderstand soll 0,5 bis höchstens 3 Ohm betragen. Messungen desselben sind der Sicherheit halber in Neuanlagen häufiger auszuführen, dann in größeren Zeiträumen (etwa vierteljährlich) zu wiederholen. Der Widerstand der Niederspannungserde darf nicht größer sein als derjenige der Hochspannungserde. Trenn-Meßstellen sind besonders zu kennzeichnen und gegen unbefugte Zugänglichkeit zu schützen. Zu beachten ist, daß der Boden in der Umgebung des Erders im Falle eines Erdschlusses durch den Erdstrom austrocknen kann, wodurch der Widerstand erhöht wird. Von Zeit zu Zeit ist deshalb ein künstliches Feuchthalten der Erder zu empfehlen. Erdungsstellen von Blitzableitern sind von der Schutzerdung der Schalteinrichtung ebenfalls zu trennen.

Für Erder lassen sich allgemeine und überall gültige Richtlinien nicht geben, da die Bodenleitfähigkeit je nach Bodenbeschaffenheit und Grundwasserstand sehr verschieden sein kann.

Als günstigstes Erdreich für Erdungen gilt Lehmboden (Ackerboden), dann folgen Humusboden, Sand und Kies. Wenn der Widerstand bei Lehmboden als 1 angenommen wird, ergeben sich bei sonst gleicher Ausführung der Erdung für Humusboden etwa der doppelte, für Sand der dreifache und für Kies der zehnfache Widerstand.

Bei steinigem Boden wird man die Grube zweckmäßig mit leitfähigerem Erdreich (Lehm, Humus usw.) ausfüllen und die Erder einschlämmen, um eine innige Verbindung mit dem umgebenden Erdreich herzustellen.

Die Bodenleitfähigkeit ist vornehmlich elektrolytisch bedingt. Das im Boden vorkommende Wasser löst die Bodensalze, besitzt aber selbst eine ziemlich schlechte Leitfähigkeit. Die Verlegung von Erdern in Wasser ist deshalb zwecklos.

Zu beachten ist auch, daß Frost die Leitfähigkeit des Bodens herabsetzt.

Als Erder verwendet man Erdplatten, Rohr- oder Banderder.

Erdplatten werden in kleineren Anlagen verwendet, wenn der Grundwasserstand nicht tiefer als 2 bis 3 m ist und keine zu großen Schwankungen aufweist. Die Eisenplatte soll mindestens 1 m² groß, 3 mm stark und verzinkt sein. Sie soll bis 1 m unter Grundwasserspiegel reichen. Es empfiehlt sich, die Platte senkrecht in das Erdreich zu stellen und von beiden Seiten fest einzustampfen und einzuschlämmen; bei waagerecht liegenden Platten kann das Erdreich absinken, die Platte selbst aber durch Steine usw. in ihrer Lage festgehalten werden, so daß Lufträume unter ihr entstehen. Über der Erdplatte soll ein Tonrohr von mindestens 10 cm l. W. senkrecht aufgestellt und etwa bis 20 cm über Erde herausgeführt werden, so daß man in der Lage ist, die Umgebung der Erdplatte regelmäßig durch Eingießen von Wasser zu befeuchten. Bei der Neuanlage des Erders kann durch eine Sodalösung eine bessere Leitfähigkeit der Erde erzielt werden.

Rohrerder in Form von verzinkten Eisenrohren von 2 bis 2,5 Zoll l. W. und 3 bis 5 m Länge nimmt man dort, wo mit Sicherheit Grundwasser in 2 m Tiefe erreicht wird. Hier wird die Sodalösung um den Kopf des Rohres geschüttet. Ferner kann das Rohr dort verwendet werden, wo man zur Verlegung einer Platte noch tiefer graben müßte. Auch hierbei soll auf das Rohr ein Tonrohr aufgesetzt werden, welches bis über die Erdoberfläche reicht. Es empfiehlt sich, zwei bis drei Rohre in einem Mindestabstand von 3 m voneinander anzuordnen.

Banderder verwendet man dort, wo es möglich ist, lange Bänder waagerecht unterzubringen, z. B. in Freiluft-Schaltanlagen, außerdem zur Unterstützung von Erdplatten oder Rohrerdern. Das verzinkte Eisenband hat in der Regel 3 bis 4 mm Dicke und 30 mm Breite und wird 30 bis 60 cm unter der Erdoberfläche netzartig ausgelegt. Die Mindestlänge beträgt 10 m. Die erforderliche Länge richtet sich neben dem erstrebten Erdungswiderstand nach der Bodenart.

Planung und Aufbau der Schaltanlage.

Allgemeines.

Der Planung einer Schaltanlage müssen die Wahl von Stromart und Spannung sowie die Festlegung des Schaltplanes für die zu errichtende elektrische Anlage vorausgehen.

Die Spannungshöhe ist bei den hier in Frage kommenden Leistungen vom wirtschaftlichen Standpunkt aus zu bestimmen, während bei größeren Leistungen auch die Kurzschlußfestigkeit der Anlage zu berücksichtigen ist (siehe Abschnitt „Kurzschlußsicherheit von Industrieanlagen").

Die Spannungsreihen sind vom VDE genormt (VDE 0176).

A. Für Gleichstrom sind folgende Werte vorgesehen:
110, 220, 440, 550, 750, 1100, 1500 und 3000 V, wobei die Spannungen von 550 bis 3000 V für Bahnanlagen mit einpoliger Erdung gelten.

B. Für Drehstrom-Niederspannung sind als Einheitsspannungen vorgesehen:
125, **220, 380** und 500 V.

Die fettgedruckten Zahlen bedeuten Vorzugsspannungen, die in erster Linie sowohl für Neuanlagen als auch für umfangreiche Erweiterungen empfohlen werden.

C. Für Drehstrom-Mittel und Hochspannung bis 100 kV sind die Werte in nachstehender Tafel zusammengestellt, die gleichzeitig einige für den Bau von Hochspannungsanlagen wichtige Mindestmaße enthält:

Tafel 21. Abstände in Starkstromanlagen von 1000 Volt und darüber[1]).

Reihe Betriebsspannung in kV	Mindestabstände		Von Boden bis Leitung im Gang (innen)[2])	Abstände zw. Schutzvorrichtung und Leiter bei:		
	innen	außen		Geländer	Gitter	Blech
1	40		2500	500	140	70
3	75		2500	500	175	105
6	100		2500	500	200	130
10	125	180	2500	500	225	155
20	180	260	2500	500	280	210
30	260	360	2500	500	360	290
45	360	470	2650	560	460	390
60	470	580	2800	670	570	500
80	580	720	3000	780	680	610
100	720	900	3200	920	820	750

Gangbreiten in Innenanlagen		
Zweck des Ganges	Anordnung[3]) einreihig	zweireihig
Beaufsichtigung	800	1000
Beaufsichtigung und Bedienung	1000	1200

[1]) Diese Abstände dürfen im ganzen Verlauf der Leitung nicht unterschritten werden. Sie verstehen sich zwischen Leiter mit zugehörigen Metallteilen und den anderen Leitern oder Erde.

[2]) Abstände gelten bei ungeschützten Leitungen bzw. Sammelschienen.

[3]) Abstände gelten von Schutzvorrichtung bis Wand, bzw. von Schutzvorrichtung bis Schutzvorrichtung.

D. Für Einphasenwechselstrom von $16^2/_3$ ~/s gelten die fettgedruckten Spannungswerte aus vorstehender Tabelle. Für Bahnbetriebe sind die Werte noch durch die für die Speisung von Fahrleitungen gebräuchliche Spannung von **15 kV** zu ergänzen.

Für die Hochspannungsgeräte gelten als genormte Nennstromstärken:
200, 400, 600, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000 A.

Trennschalter und Leistungstrennschalter unter 200 A sind unzulässig.

Für das Nennausschaltvermögen von Leistungsschaltern und Leistungstrennschaltern gelten folgende genormte Nennabschaltleistungen:
1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, (150), 200, 400, 600, 1000, (1500), 2000 MVA.

Weiter gelten folgende genormte Grenzausschaltströme:
0,2, 04, 06, 1, 1,5, 2, 3, 4, 6, 7,5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 kA

für Sicherungen gelten als genormte Nennstromstärken:
2, 4, 6, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600 A.

Für das Nennausschaltvermögen von Sicherungen gelten folgende genormte Nennausschaltströme (Effektivwerte):
0,2, 0,4, 0,6, 1, 1,5, 2, 3, 4, 6, 10, 15, 20, 30, 40, 60 kA.

Übersichtschaltplan.

Nach der Festlegung von Stromart und Spannung ist der **Schaltplan** zu entwerfen. Neben der Aufteilung der Speisepunkte bzw. Bestimmung der Stromkreise ist die Frage zu entscheiden, ob Einfach-, Doppel- oder Mehrfachsammelschienen gewählt werden sollen.

Die Sammelschiene ist ein wichtiger Teil einer Schaltanlage; an dieser Stelle werden die Stromerzeuger miteinander oder mit Fremdstromlieferern parallel geschaltet, und von hier aus geschieht die Verteilung des elektrischen Stromes.

Für Ausläuferstationen und kleinere Eigenanlagen mit wenigen Stromkreisen kommt die billigste Form, das **Einfachsammelschienensystem** in Betracht.

Die Betriebssicherheit einer Schaltanlage wird wesentlich erhöht durch den Einbau eines zweiten Schienensystems. Das **Doppelsammelschienensystem,** das hierdurch entsteht, gibt dem Betriebsleiter größere Beweglichkeit für alle vorkommenden Schaltmöglichkeiten. Die zweite Sammelschiene ist außerdem eine wertvolle Reserve im Fall einer Störung an dem in Betrieb befindlichen System oder bei der regelmäßigen Reinigung der Schaltanlage.

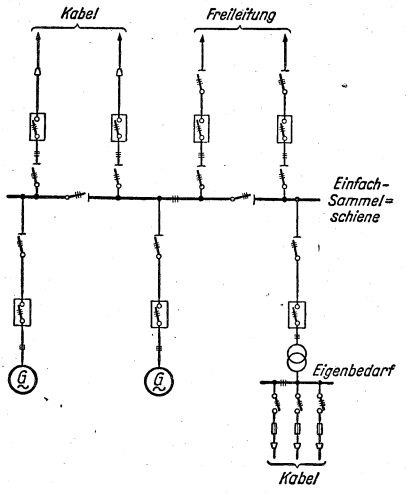


Bild 114. Einfachsammelschienensystem.

In Bild 114 ist ein Einfachschienensystem dargestellt.

Die Trennschalter können in Niederspannungsschaltanlagen entfallen, wenn die Stromkreise mit Hebelschaltern und Sicherungen, oder mit Luftselbstschaltern (Automaten) ausgerüstet sind. Sonstige Leistungsschalter, Ölschalter, öllose Leistungsschalter oder Leistungstrennschalter müssen, wenn sie von beiden Seiten Spannung erhalten können, nicht nur vor, sondern auch hinter den Schaltern mit erkennbaren Trennstellen (Trennschaltern) ausgerüstet werden. Zwischen Stromerzeugern, Umspannern und zugehörigem Leistungsschalter sind Trennschalter jedoch nicht erforderlich.

Die Längstrennung der Einfachsammelschienen in Gruppen kann nur als teilweiser Ersatz für Doppelsammelschienen angesehen werden. Bei der Anwendung der Längstrennung ist auf möglichst gleichmäßige Aufteilung der Leistungen von Erzeugern und Abzweigen zu achten.

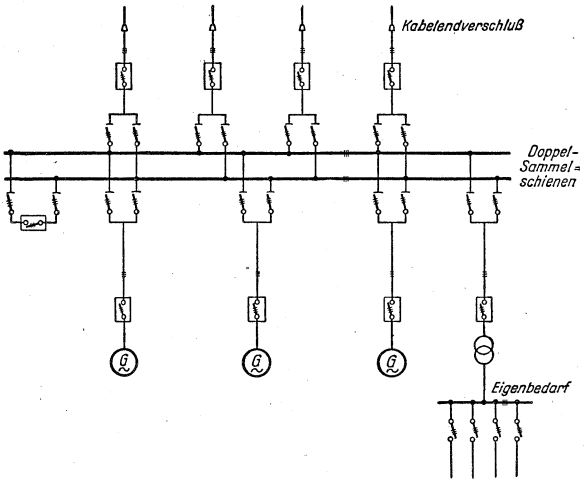


Bild 115. Doppelsammelschienensystem.

Im Schaltplan Bild 115 ist der Kupplungsschalter für die Doppelsammelschienen besonders zu erwähnen. Mit Hilfe dieses Leistungsschalters kann auf einfache Weise der Betrieb ohne Unterbrechung von einer Sammelschiene auf die andere umgelegt werden. Tritt bei dem Leistungsschalter eines Abzweiges eine Störung auf, so kann nach Überbrückung dieses Schalters der Betrieb über Betriebsschiene - Kuppelschalter - Reserveschiene, aushilfsweise wieder aufgenommen werden. Beim Vorhandensein mehrerer Stromerzeuger besteht die Möglichkeit, zeitweise mit getrennten Sammelschienen zu fahren. Zwecks Wiederherstellung des Parallelbetriebes muß der Kuppelschalter an die Synchronisiereinrichtung angeschlossen werden. Die Stromstärke des Kuppelschalters wählt man gewöhnlich gleich groß oder größer als diejenige des größten Stromerzeugers.

In Bild 116 soll noch die Verwendungsmöglichkeit einer Hilfsschiene gezeigt werden.

In den Schaltplänen Bild 114—116 ist die Spannung der Stromerzeuger gleichzeitig die Spannung für die Stromverteilung. Das trifft für solche Anlagen zu, bei welchen alle Stromverbraucher in der Nähe der Stromerzeugungsanlage liegen, was bei vielen Industrieanlagen der Fall ist.

Kraftübertragungen auf größere Entfernungen bedingen die Aufstellung von Umspannern für die Erzeugung der Übertragungsspannung. Im Schaltplan Bild 117 ist für die Erzeuger- und für die

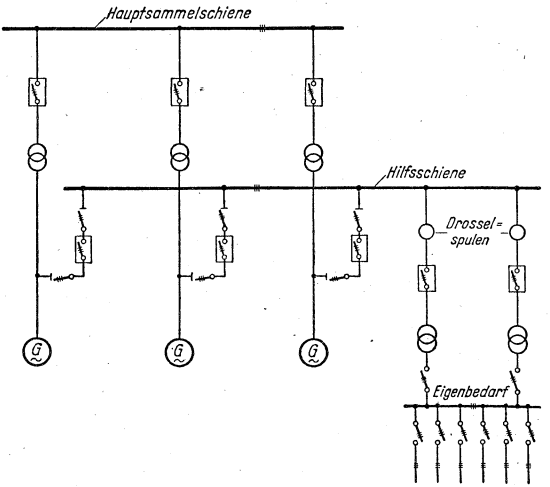


Bild 116. Einfachsammelschiene mit Hilfsschiene.

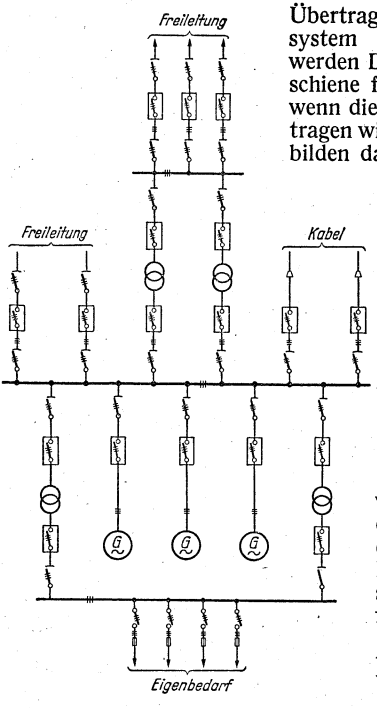


Bild 117.
Beispiel eines Schaltplanes für eine Kraftübertragung auf größere Entfernungen.

Übertragungsspannung je ein Einfach-Sammelschienensystem gezeichnet. Je nach Wichtigkeit der Anlage werden Doppelsammelschienen vorgesehen. Die Sammelschiene für die Stromerzeugerseite kann man ersparen, wenn die Gesamtleistung auf große Entfernungen übertragen wird; Generator und Umspanner gleicher Leistung bilden dann eine Schalteinheit.

Eigenbedarf des Kraftwerkes.

Der Eigenbedarf des Kraftwerkes und seiner unmittelbaren Umgebung wird bei Spannungen der Stromerzeuger über 380/220 V durch Eigenbedarfsumspanner gedeckt, welche die Erzeugungsspannung auf die Gebrauchsspannung des Eigenbedarfs herabsetzen. In Großkraftwerken übernehmen eigene Hausgeneratoren die Stromversorgung der umfangreichen Hilfsbetriebe.

Die Leistung des Eigenbedarfs eines Kraftwerkes ist abhängig von der Art und Größe desselben. Am geringsten je Leistungseinheit ist der Eigenbedarf in Wasserkraftwerken und in Dieselzentralen. Bei diesen Werken beschränkt sich der Eigenbedarf auf einige Motorantriebe für Schütze, Abstellschieber, Luftverdichter, Kühlwasser- und Ölversorgung, elektrische Antriebe für Trenn- und Leistungsschalter, für Werkstattmotoren, Umformer zur Batterieladung usw. sowie für die Beleuchtung des Werkes. Größer ist der Eigenverbrauch in Dampfkraftwerken. Nach Titze[1]) beträgt er:

für Steinkohlen mit Rostfeuerung etwa 3 bis 4%
für Steinkohlen mit Staubfeuerung etwa 6 bis 7%
für Braunkohlen mit Rostfeuerung etwa 4 bis 5%
für Braunkohlen mit Staubfeuerung etwa 7 bis 8%

von der Spitzenleistung des Werkes.

Auswahl der Geräte.

Nach der grundsätzlichen Festlegung des Schaltplanes sind die Schalt- und Meßgeräte für die einzelnen Stromkreise zu bestimmen. Die Auswahl der Schaltgeräte ist an Hand des Abschnittes „Schaltgeräte" zu treffen. Für die Messung sind betriebstechnische und teilweise verwaltungstechnische Erwägungen maßgebend.

Für DS-Generatoren ohne Parallelbetrieb sind vorzusehen: 1 bis 3 Strommesser, 1 Spannungsmesser, 1 Leistungsmesser samt den etwa zugehörigen Strom- und Spannungswandlern sowie 1 Strommesser für die Erregung.

Beim Parallelbetrieb von mehreren Stromerzeugern sind außerdem für die Lastverteilung erwünscht: 1 Blindleistungsmesser, oder 1 Leistungsfaktormesser, ferner für die Synchronisierung:

[1]) Titze, Fr.: „Die elektrische Einrichtung für den Eigenbedarf großer Kraftwerke" Berlin, Springer, Juli 1927

2 Spannungsmesser,
1 Doppelfrequenzmesser,
1 Nullvoltmeter mit parallelgeschalteter Phasenlampe, oder
1 Synchronoskop (siehe Abschnitt „Meßgeräte")

für die abgehenden Stromkreise, auch für Umspanner ist der Einbau von Strommessern zu empfehlen.

Spannungsmesser und Erdschlußprüfer sind an den Sammelschienen notwendig.

Die gegebenen oder errechneten Meßbereiche sind mit einem Aufschlag von etwa 20% auszuführen, damit Strom- und Spannungsstöße von den Meßgeräten ohne Schaden aufgenommen werden können.

Wirkschaltplan.

Der **Wirkschaltplan*)** ist die vollständige Darstellung der Schaltung mit Hilfsleitungen und ihren Klemmen.

Er soll ein klares Bild geben über die Anordnung und Wirkungsweise der Schaltung und besonders bei Störungen das Verfolgen der Stromwege erleichtern.

Bei der Darstellung ist in der Regel nur die räumliche Unterteilung der einzelnen Anlagengruppen in Zellen oder Felder zu berücksichtigen, aber nicht die räumliche Anordnung der Geräte innerhalb derselben.

Der Wirkschaltplan für Ds-Anlagen wird im Gegensatz zum Übersichtsschaltplan dreipolig aufgezeichnet. Er enthält außer den Hauptleitungen, den Schalt- und Meßgeräten, Schutzeinrichtungen usw., die Meß-Signal- und Betätigungsstromkreise der Schaltfelder und deren Absicherung mit den Klemmen, letztere in stark vereinfachter Darstellung. Im Wirkschaltplan sind die Querschnitte aller Leitungen, die Festlegung der Phasenfolge, die Polbezeichnung der Auslösestromquelle, die Erdung von Strom- und Spannungswandlern usw. einzutragen. Zwecks Vereinheitlichung der Schaltpläne sollten folgende Richtlinien beachtet werden: Bei Doppelsammelschienen ist System I oben bzw. links, System II unten bzw. rechts anzuordnen. Bei Dreifachschienen liegt das II. System in der Mitte, das III. unten bzw. rechts. Am linken Ende der Sammelschienen sind die Stromart, die Betriebsspannung in kV, die Reihe bzw. Nennspannung und der Leiterwerkstoff einzutragen.

Anschlußplan.

Der **Anschlußplan*)** ist die der räumlichen Anordnung entsprechende Darstellung von Leitungsanschlüssen und Anschlußmöglichkeiten an elektrischen Anlagen, Anlagenteilen oder elektrischen Geräten. Er dient beim Bau als Grundlage zum Anschließen sämtlicher Leitungen und läßt nur die Leitungsanschlüsse, aber nicht die Schaltung erkennen.

Er ist für die Verdrahtung beim Aufbau größerer Schaltanlagen ein wichtiger Behelf. Die Anschlußpläne, früher Klemmenschaltbilder genannt, trennen die Meß- und Schutzeinrichtungen und dergleichen nach der örtlichen Lage. Für Umspanner mit Fernschaltung z. B. sind drei Anschlußpläne zu entwerfen, und zwar für die Warte, für die Ober- und die Unterspannungsseite des Umspanners, die aber auf einem Blatt vereinigt sein können.

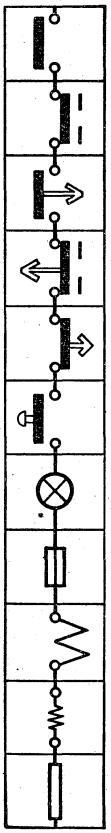
Nach den VDE-Richtlinien werden zur Bezeichnung der Leitungen Grob- und Feinzeichen verwendet, womit eine Vereinheitlichung in der Beschriftung erzielt wird.

*) Begriffserklärung nach Din VDE 709.

Stromlaufschaltplan.

Der **Stromlaufschaltplan*)** ist die nach Stromwegen aufgelöste Darstellung der Schaltung mit Hilfsleitungen und ihren Klemmstellen.

Er soll die Schaltung und ihre Wirkungsweise klar und deutlich darstellen. Er dient zum Entwerfen und zum Erklären verwickelter Schaltungen, sowie zum Verfolgen der



1 = Arbeitskontakt eines Relais oder Schaltschützes, der geschlossen ist, wenn die Relais- oder Schützspule von Strom durchflossen ist. Hilfskontakt an einem Trenn- oder Leistungsschalter, der geschlossen ist, wenn der Trenn- oder Leistungsschalter geschlossen ist.

2 = Ruhekontakt eines Relais oder Schaltschützes, der geschlossen ist, wenn die Relais- oder Schützspule stromlos ist. Hilfskontakt an einem Trenn- oder Leistungsschalter, der geschlossen ist, wenn der Trenn- oder Leistungsschalter geöffnet ist.

3 = Kontakt eines Zeitrelais, der verzögert schließt, wenn die Relaisspule an Spannung gelegt wird.

4 = Kontakt eines Zeitrelais, der verzögert schließt, wenn die Relaisspule stromlos wird.

5 = Kontakt eines Zeitrelais, der verzögert öffnet, wenn die Relaisspule an Spannung gelegt wird.

6 = Betätigungsdruckknopf mit einem Arbeitskontakt.

7 = Signallampe.

8 = Betätigungssicherung

9 = Relaisspule.

10 = Umspannerwicklung oder Drosselspule.

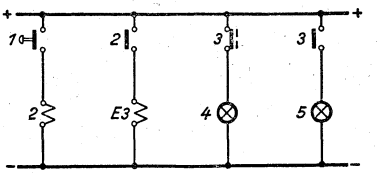
11 = Ohmscher Widerstand.

Bild 118. Bezeichnungsweise der in einem Stromlaufschaltplan dargestellten Schalter, Relais, Kontakte usw.

einzelnen Stromwege beim Suchen von Störungsursachen und gegebenenfalls zum Erkennen der Schaltfolge.

Die Stromwege sollen möglichst geradlinig und ohne Kreuzungen dargestellt werden, ohne Rücksicht auf die räumliche Lage und den mechanischen Zusammenhang der einzelnen Teile.

In diesem Schaltplan werden die Steuerstromkreise so von links nach rechts nebeneinander aufgezeichnet, wie ihre Betätigung zeitlich aufeinander folgt.



1	2	3	4
Mit Druckknopf 1 wird Zwischenschütz 2 betätigt.	Kontakt des Zwischenschützes betätigt Einschaltspule E3.	Der Kontakt b am Schalter 3 öffnet. Die „Aus"-Lampe 4 erlischt.	Der Kontakt a am Schalter 3 betätigt die „Ein"-Lampe.

Bild 119. Stromlaufschaltplan für die Einschaltung eines Schalters 3 und dessen Stellungsrückmeldung.

*) Begriffserklärung nach Din VDE 709.

Die im Stromlaufschaltplan vorkommenden Schaltgeräte sind fortlaufend beziffert*). Die Zahlen erscheinen jeweils neben dem betreffenden Zeichen für Kontakt, Spule usw. und kennzeichnen die Zusammengehörigkeit. Die nachstehend verwendeten Bezeichnungen und die Eigenschaften der Schaltzeichen gehen aus Bild 118 hervor.

Als einfaches Beispiel für einen solchen Plan soll die Fernschaltung eines Leistungsschalters 3 über ein Zwischenschütz und dessen Stellungsrückmeldung in Bild 119 dargestellt werden. Im Stromkreis 1 wird durch Betätigen des Druckknopfes 1 das Zwischenschütz 2 gesteuert. Der nächste Stromkreis zeigt die Schaltfolge des ersten Stromkreises, und zwar schließt das Zwischenschütz seinen Kontakt 2a, der die Einschaltspule E des Leistungsschalters 3 an Spannung legt. Der Leistungs schalter schaltet ein. Die Folge ist im Stromkreis 3 dargestellt. Der Leistungsschalter öffnet beim Einschalten seinen Kontakt 3b, und die „Aus"-Lampe 4 erlischt. Durch einen Kontakt 3a des eingeschalteten Leistungsschalters wird der Stromkreis für die „Ein"-Lampe 5 geschlossen.

Als weiteres Beispiel soll die Schaltfolge eines einfachen Anlaßverfahrens für direkte Einschaltung von großen Synchronmotoren erläutert werden (Bild 120). Die Einhaltung der Schaltfolgen geschieht selbsttätig, so daß zum Anlassen und Abschalten des Motors lediglich die Betätigung je eines Druckknopfes genügt.

Der Druckgasschalter 1 wird durch Druckknopfschalter 14 eingeschaltet, während der Nebenschlußregler 3 in Anlaufstellung steht und der Feldschwächungsautomat 4 ausgeschaltet, das Feld also stark geschwächt ist. Der Motor läuft asynchron an. Gleichzeitig läuft Zeitrelais 5 an, das nach einer erfahrungsgemäß gewählten Zeit im Stromkreis 103 Kontakt gibt. Wenn der Anlaßstrom auf den am Stromrelais 6 eingestellten Wert abgeklungen ist, d.h. nach Erreichung von etwa 95% der synchronen Drehzahl, schließt auch dieses Relais seinen Kontakt. Dann erfolgt über Zwischenschütz 4H mit einigen Sekunden Zeitverzögerung die Einschaltung des Feldschwächungsselbstschalters 4, womit der Feldschwächungswiderstand kurzgeschlossen ist. Die Lampe 11 zeigt an, daß damit der Betriebszustand erreicht ist. Bei der Ausschaltung des Motors erfolgt selbsttätige Rückschaltung des Feldschwächungsschalters in die Anlaufstellung durch Stromkreis 109. Als Motorschutz sind in diesem Falle ein Überstrom- und ein Nullspannungsrelais vorgesehen, deren Kontakte 9a und 10b im Störungsfall, ebenso wie der Druckknopf 15 beim planmäßigen Stillsetzen des Motors, die „Aus"-Spule des Leistungsschalters an Spannung legen.

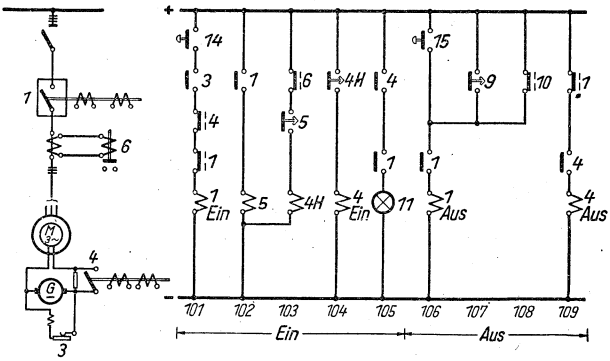


Bild 120. Stromlaufschaltplan zum Anlassen und Abstellen eines Synchronmotors.

Der Stromlaufschaltplan spielt, wie in der Begriffserklärung bereits gesagt, nicht nur bei der Planung, sondern auch im Betrieb eine wichtige Rolle. An Hand dieses Schaltplanes kann im Falle einer Störung sehr schnell festgestellt werden, welcher Stromkreis nicht ordnungsgemäß gearbeitet hat. Das Auffinden des Fehlers wird durch die klare und übersichtliche Aufzeichnung des Schaltvorganges sehr vereinfacht.

*) G. Meiners: „Die Technik selbsttätiger Steuerungen und Anlagen". Verlag: R. Oldenbourg 1936.

Trennschalter-Verriegelungen.

Betriebserfahrungen haben gezeigt, daß die Mehrzahl aller Betriebsstörungen in Schaltanlagen durch fehlerhaftes Schalten von Trennschaltern entsteht.

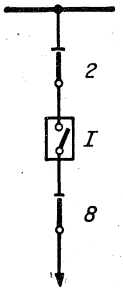
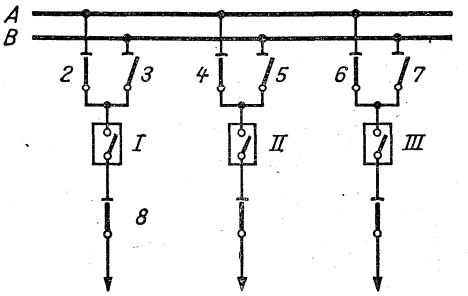


Bild 121. Hochspannungsabzweig bei Einfachsammelschienen.

Das Verhindern der Fehlschaltung eines Trennschalters, d. h. Öffnen und Schließen desselben unter Last, ist mit einfachen Mitteln durch Verriegelungsanordnungen möglich.

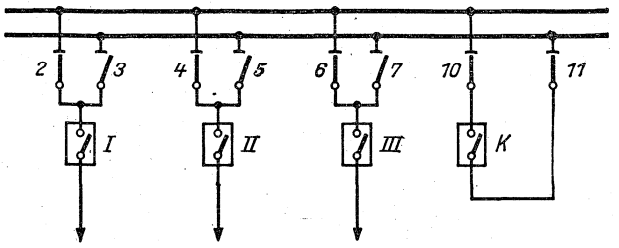
Bei Einfachsammelschienen sind die Schaltbedingungen und damit auch die Verriegelungen ganz besonders einfach. Die Trennschalter 2 und 8 (Bild 121) eines Abzweiges dürfen immer dann beliebig ein- und ausgeschaltet werden, wenn der Leistungsschalter I ausgeschaltet ist.

Bei Doppelsammelschienen sind diese Bedingungen davon abhängig, ob die Parallelschaltung der beiden Sammelschienensysteme gefordert wird oder nicht. Bejahendenfalles werden die Bedingungen außerdem beeinflußt vom Vorhandensein eines Kupplungsschalters. Sie sind am einfachsten, wenn der Übergang von einem auf das andere Sammelschienensystem gesperrt sein soll, was z.B. bei asynchronem Betrieb der Fall ist. Für den Freileitungstrennschalter 8 (Bild 122) gelten die gleichen Verriegelungsbedingungen wie bei Einfachsammelschienen. Die Sammelschienentrennschalter müssen dagegen zwei Bedingungen genügen. Der Leistungsschalter I sowie der andere zugehörige Sammelschienentrennschalter müssen ausgeschaltet sein. Bei dieser Anordnung der Trennschalterverriegelung ist daher eine Umschaltung auf das andere Sammelschienensystem nicht ohne Stromunterbrechung, d. h. ohne kurzzeitige Ausschaltung der betreffenden Leistungsschalter möglich, es sei denn, daß die Trennschalterverriegelungen kurzzeitig aufgehoben werden.



A, B = Sammelschienen, 2 . . 7 = Trennschalter an den Sammelschienen,
I, II, III = Leistungsschalter, 8 = Freileitungs-Trennschalter.

Bild 122: Doppelsammelschienen ohne Kupplungsschalter.



I, II, III = Leistungsschalter, K = Kuppelschalter.
2 . . . 7, 10, 11 = Trennschalter,

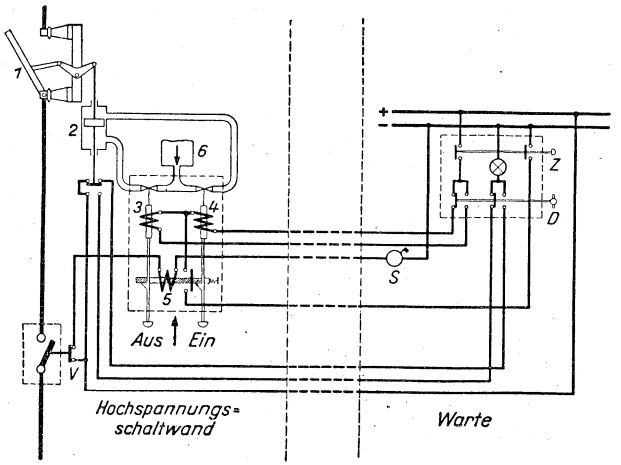
Bild 123. Doppelsammelschienen mit Kuppelschalter.

Bei Vorhandensein eines Kupplungsschalters (Bild 123) sind die Trennschalterverriegelungen auch bei unterbrechungslosem Übergang auf die andere Sammelschiene sehr einfach. Der jeweils erste Sammelschienentrennschalter jedes Abzweiges kann bei ausgeschaltetem

Leistungsschalter beliebig ein- und ausgeschaltet werden. Außerdem ist die Schaltung des jeweils zweiten Sammelschienentrennschalters eines Abzweiges bei eingeschaltetem ersten Sammelschienentrennschalter und eingeschaltetem Leistungsschalter dann freigegeben, wenn der Kupplungsschalter K nebst zugehörigen Trennschaltern 10 und 11 eingeschaltet ist. Ist der Abzweig I mit Hilfe des Trennschalters 2 z. B. auf die Sammelschiene A geschaltet und der Kuppelschalter nebst Trennschaltern eingelegt, so sind die Einschaltung des Trennschalters 3 und die anschließende Ausschaltung von 2 trotz eingeschaltetem Leistungsschalter I freigegeben. Die Trennschalter 2 und 3 haben dabei niemals Leistung zu schalten, da die etwa auftretenden Ausgleichströme über die Kupplung K geführt werden.

Schließlich ist bei Doppelsammelschienen noch eine dritte Schaltmöglichkeit, und zwar gleichfalls nach Bild 122 ohne Kuppelschalter gegeben, bei welcher der unterbrechungslose Übergang von der einen auf die andere Sammelschiene durch entsprechend ausgebildete Verriegelungseinrichtungen freigegeben ist, wenn eine bestimmte Schaltfolge eingehalten wird. Die Verriegelungsbedingungen sind hierbei etwas verwickelter, können aber mit der von der AEG durchgebildeten Schaltung leicht beherrscht werden. Nimmt man z. B. an, daß die Sammelschiene A (siehe Bild 122) bei eingeschalteten Trennschaltern 2, 4 und 6 unter Strom ist, während die Sammelschiene B spannungsfrei ist, so können ohne Bedenken nacheinander die Trennschalter an der Sammelschiene B in beliebiger Reihenfolge z. B. 3, 5 und 7 eingelegt werden; der Trennschalter 3 kann betätigt werden, weil auf die spannungslose Sammelschiene B eingeschaltet wird; 5 und 7 können geschaltet werden, weil dann bereits beim ersten Abzweig eine Sammelschienenkupplung über die Trennschalter 2 und 3 besteht. Die Verriegelungen sind bei diesem System weiterhin so ausgebildet, daß nunmehr nacheinander die Trennschalter an der Sammelschiene A in beliebiger Reihenfolge, z. B. 2, 4, 6 ausgeschaltet werden können. Die Ausschaltung von 2 und 4 ist freigegeben, weil an den Trennschaltern 6 und 7 noch eine Sammelschienenkupplung besteht. Andererseits ist die anschließende Abschaltung von 6 freigegeben, weil an der Sammelschiene A kein weiterer Abnehmer mehr liegen kann, so daß der Trennschalter 6 stromlos öffnet. Hierdurch ist die Sammelschiene A spannungsfrei, während der Strom nunmehr über die Schiene B fließt.

Mit diesem Verriegelungssystem können mithin auch verhältnismäßig verwickelte Starkstromschaltungen so beherrscht werden, daß Fehlschaltungen trotz Fehlens des Sammelschienen-Kuppelschalters sicher vermieden werden. Hierbei ist aber vorausgesetzt — die Überwachung dieser Voraussetzung ist in das Verriegelungssystem einbezogen —, daß ein



1 = Trennschalter,
2 = Druckluftantrieb,
3, 4 = Elektromagnetisch betätigte Druckluft-Steuerventile,
5 = Verriegelungsmagnet,
6 = Druckluftzuleitung,
D = Drehschalter des Steuerquittungsschalters,
Z = Zugschalter des Steuerquittungsschalters,
V = Verriegelungskontakt an den anderen Trenn- und Leistungsschaltern,
S = Gemeinsamer Schalter für Abschaltung aller Verriegelungsmagnete.

Bild 124. Schema für ferngesteuerten Trennschalter mit Verriegelung

Zusammenschalten zweier unter Spannung stehender Sammelschienen nicht in Betracht kommt. In derartigen Fällen muß unbedingt ein Kuppelschalter vorhanden sein, dessen Einschaltung unter Umständen durch eine Relaiseinrichtung überwacht werden kann.

In entsprechender Weise lassen sich die Verriegelungsbedingungen auch bei Dreifachsammelschienen festlegen, ebenso für Sammelschienen-Längstrennschalter, Erdungsschalter usw. Zu den Verriegelungseinrichtungen selbst sei folgendes gesagt:

Es gibt mechanische, elektrische, pneumatische und elektropneumatische Verriegelungen. Mechanische Trennschalterverriegelungen sind seit Jahrzehnten bekannt. In Schaltanlagen größerer Ausdehnung sind sie aus räumlichen Gründen nicht verwendbar. Werden Trennschalter mit Fernantrieb benutzt, so kann auch hier die mechanische Verriegelung mit dem Leistungsschalter nicht verwendet werden.

Elektrische Trennschalterverriegelungen, die ohne die Verwendung von Sperrmagneten nur über Hilfskontakte arbeiten, haben den Nachteil, daß sie bei örtlichen Schaltungen von Hand nicht wirksam sind. Da heute die überwiegende Zahl aller mit Verriegelungen auszustattenden Trennschalter Druckluftantriebe hat, kann entweder eine rein pneumatische Verriegelung verwendet werden, oder eine elektropneumatische Verriegelung mit Sperrmagneten zur gleichzeitigen Sperrung der Druckluft-Handschaltung.

Die AEG benutzt die letztgenannte Lösung, da sie einfacher und übersichtlicher als die rein pneumatische Verriegelung ist, bei mindestens ebenso großer Betriebssicherheit.

Bild 124 zeigt das Schema für einen ferngesteuerten Trennschalter mit Verriegelungseinrichtung. Die Steuerung des Trennschalters 1 von der Warte aus erfolgt in bekannter Weise z. B. durch einen Steuerquittungsschalter. Der Zugschalter Z des Steuerquittungsschalters schaltet je nach der Stellung des angebauten Drehschalters D entweder den Betätigungsmagneten 3 des Auslöseventils oder den Magneten 4 des Einschaltventils. Der betreffende Stromkreis ist jedoch nur dann geschlossen, wenn der im Betätigungsventil eingebaute Verriegelungsmagnet 5 unter Strom ist und seinen Hilfskontakt geschlossen hat. Dies ist nur dann der Fall, wenn einerseits die Schaltung des Trennschalters 1 zulässig ist, d. h. wenn der Hilfskontakt V des zugehörigen und ausgeschalteten Leistungsschalters geschlossen ist und wenn andererseits ein für die ganze Anlage gemeinsamer Paketschalter S in der Warte eingeschaltet ist.

Im Rahmen einer größeren Schaltanlage treten verwickelte Verriegelungsbedingungen auf, die durch entsprechende Kontaktgruppen, an Stelle des einen Hilfskontaktes V, erfaßt werden. Ist die Betätigung des Trennschalters freigegeben, der Magnet 5 also angezogen, so zieht z. B. der Magnet 4 bei Betätigung des Zugschalters Z des Steuerquittungsschalters an und schaltet mit Druckluft den Trennschalter 1 mit Hilfe des Antriebes 2 ein. Die Einschaltung des Trennschalters wird nach dem Schalthub und nach Überwindung der Totpunktlage des Antriebes durch den Hilfskontakt am Antrieb 2 an die Warte zurückgemeldet, die eingebaute Lampe im

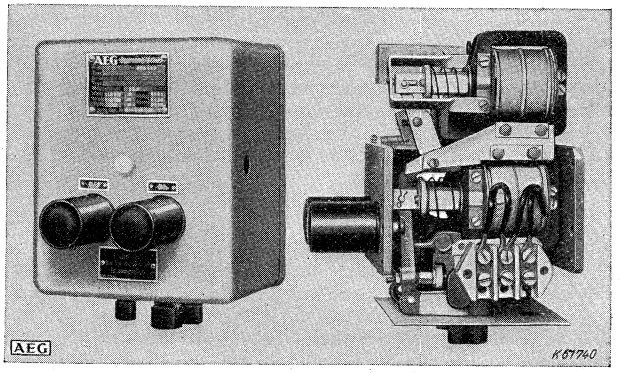


Bild 125. Betätigungsventil mit Sperrmagnet (geschlossen und offen).

Steuerquittungsschalter leuchtet auf und wird mit dem Drehschalter des Steuerquittungsschalters abgeschaltet. Die Knebelstellung des Drehschalters zeigt im Rahmen des Blindschaltbildes (s. S. 242) in der Warte die neue Einschaltstellung des Trennschalters an. Die Ausschaltung erfolgt in entsprechender Weise.

Außer der Fernschaltung ist auch eine örtliche Steuerung des Trennschalters von der Hochspannungsschaltwand aus durch mechanische Betätigung der Ventildruckknöpfe möglich. Auch bei dieser rein mechanischen Betätigungsart ist die Ein- und Ausschaltung des Trennschalters erst dann freigegeben, wenn der Verriegelungsmagnet 5 stromdurchflossen ist. Hierin liegt gegenüber der rein elektrischen Verriegelung nur über Hilfskontakte ohne Sperrmagneten eine zusätzliche Sicherheit, da die Verriegelungen auch bei örtlicher Handbetätigung wirksam sind.

Schließlich ist es auch noch möglich, den Trennschalter durch Handbetätigung der Ventile zu schalten, auch wenn der Sperrmagnet stromlos ist, falls die Verriegelung gleichzeitig an dem betreffenden Ventil durch einen Sonderschlüssel von Hand aufgehoben wird. Damit ist eine Notschaltmöglichkeit gegeben. Die mechanische Ausführung des Betätigungsventils mit oben aufgebautem Sperrmagneten zeigt Bild 125. Die Zahl der erforderlichen Hilfskontakte ist sehr gering und geht aus der untenstehenden Zahlentafel hervor, die sich entsprechend der bisherigen, bewährten Übung auf einpolige Schaltung der Verriegelungsschaltungen bezieht, während die Trennschalterfernschaltung selbst zweipolig ausgeführt wird.

Tafel 22. Hilfskontakte für die Verriegelung.

Sammelschienen	Kuppelschalter	Übergang von einer auf die andere Sammelschiene	Erforderliche Hilfskontakte	
			Je Sammelschienen Trennschalter	Je Leistungsschalter sowie Freileitungs-Trenn- und Erdungsschalter
Doppel	ohne	gesperrt (Fall 1)	1	1
Dreifach			2	1
Doppel	mit	frei, wenn Kuppelschalter eingeschaltet ist (Fall 2)	2	1
Dreifach			4	1
Doppel[1])	ohne	freigegeben (Fall 3)	4	1

[1]) Diese Schaltung ist auch bei Dreifach-Sammelschienen ohne weiteres ausführbar, kommt jedoch praktisch kaum in Betracht, da hier immer Sammelschienen-Kuppelschalter vorhanden sein werden.

Innenraumschaltanlagen für Hochspannung.

Aus wirtschaftlichen Gründen wird die Verteilung des elektrischen Stromes nicht nur in Überland- und Stadtkraftwerken, sondern auch in den meisten Stromerzeuger- und Anschlußanlagen der Industrie mit hochgespanntem Drehstrom durchgeführt. Aus diesem Grunde nehmen die Hochspannungsanlagen im Schaltanlagenbau einen breiten Raum ein.

Die ältesten Hochspannungsschaltanlagen in Deutschland waren mit Luftschaltern ausgerüstet. Diese Luftschalter, die nur kleine Leistungen zu schalten hatten, wurden durch Ölschalter verdrängt, als die Leistung der Kraftwerke immer größer wurde. Die ersten deutschen Schaltanlagen mit Ölschaltern für Handbetätigung und Sicherungen mit Glaspatronen zum Schutz der Maschinen und Leitungen gegen Überlast hatten einen Aufbau, wie er in umstehender Skizze (Bild 126) festgehalten ist. Hier tauchten erstmalig die Begriffe Zellen, Sammelschiene und Trennschalter auf. Die durch Drahtgitter gebildeten Trennwände zwischen den Geräten der einzelnen Stromkreise sollten als Berührungsschutz dienen. Diese Zellentrennung versagte aber

vielfach dann, wenn es zu Lichtbogenbildungen in einer der Zellen kam, da sich in diesem Falle die zerstörenden Wirkungen des Lichtbogens auch auf die Nachbarzellen ausdehnen konnten.

Erfahrungen in dieser Richtung führten dazu, die Drahtgitter durch lichtbogensichere Zwischenwände zu ersetzen.

Die deutschen Schaltanlagentechniker hatten sich schon sehr früh die Aufgabe gestellt, Maßnahmen zum Schutz des Betriebspersonals zu treffen. Bereits im Jahre 1911 schrieb H. Probst in einer Druckschrift „Moderne Schaltanlagen" wörtlich: „Die Aufgabe eines Schalttafelkonstrukteurs besteht darin, daß er alle zur Kontrolle eines Stromkreises gehörenden Apparate zu einem Ganzen gruppiert. Dieses Ganze soll gefahrlos sein und bequem in der Bedienung, übersichtlich in der Anordnung und zuverlässig im Betrieb."

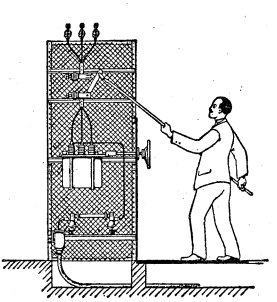


Bild 126. Schaltzelle mit Handölschalter und Sicherung 3 kV.

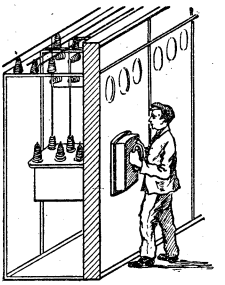


Bild 127. Gemauerte Schaltwand als Schutz für Bedienungsmannschaft.

Der Forderung nach gefahrloser Bedienung der Schaltanlagen wurde deshalb beim Bau von Schaltanlagen ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt. So wurde bald die zuerst nach der Bedienungsseite offene Schaltzelle (ähnlich Bild 126) durch eine feuerfeste Wand abgeschlossen (Bild 127). Der Bedienungsmann war hierdurch beim Schalten gegen eventuelle Verletzung durch den Lichtbogen geschützt.

Es wurde in den Betrieben aber auch beobachtet, daß ein entstehender Lichtbogen durch die Schleifenwirkung an den Sammelschienen weiterwanderte, um in irgendeiner, in Bild 128 z. B. mit einem Kreuz bezeichneten, Zelle Schaden anzurichten. Dieser Wanderung des Lichtbogens begegnete man durch Einbau des Lichtbogenschutzes, der aus einer Isolierplatte mit Hochspannungsdurchführungen besteht und zwischen Sammelschienen und Sammelschienentrennschaltern angeordnet wird (Bild 129).

Auf die einzelnen Entwicklungsstufen der Hochspannungsschaltanlagen kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Erwähnt sei nur, daß größere Schaltanlagen eine Zeitlang vielstöckig ausgeführt wurden. Überspannungsschutz, Sammelschienen, Ölschalter, Meßwandler und Kabelabführungen wurden je in einem Stockwerk untergebracht. Diese viel zu weit gehende Unterteilung erschwerte nicht nur die Bedienung, sondern verminderte auch die Übersicht über die gesamte Schaltanlage.

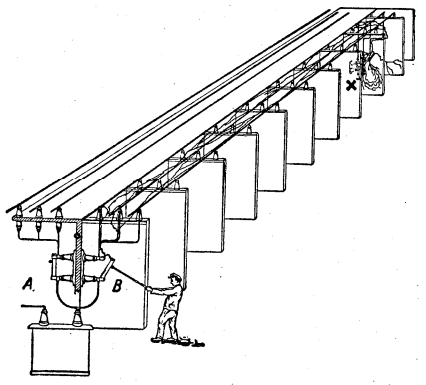


Bild 128. Wandernder Lichtbogen, durch Ziehen eines Trennschalters unter Last verursacht.

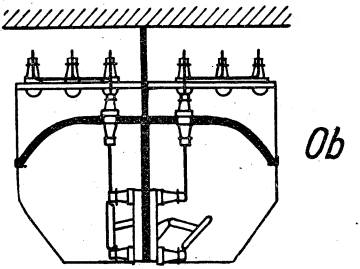


Bild 129. Lichtbogenschutz vor Sammelschienen.

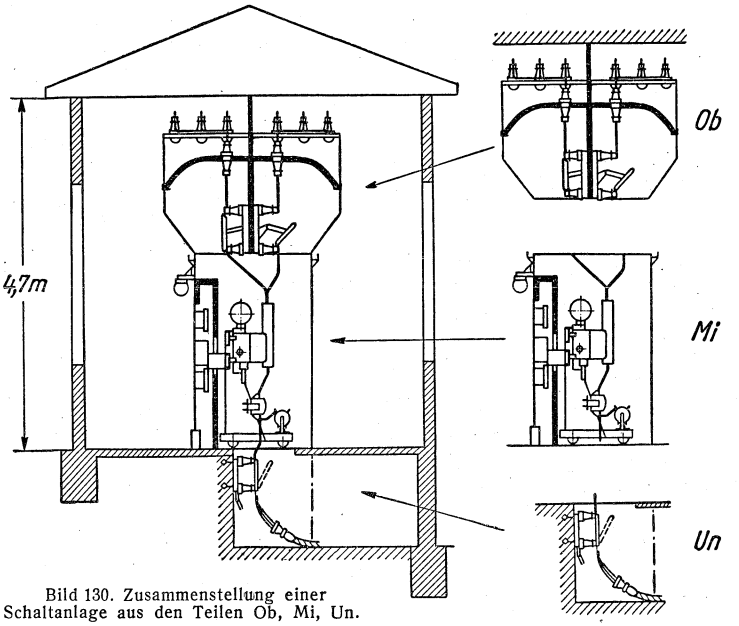


Bild 130. Zusammenstellung einer Schaltanlage aus den Teilen Ob, Mi, Un.

Im Jahre 1921 nahm H. Probst gegen diesen Brauch gewordenen Aufbau Stellung[1]).

Es entstanden dann für höhere Spannungen und größere Leistungen Schaltanlagen, die zwei, höchstens drei Stockwerke aufwiesen. Die Ölschalter waren hierbei in eigenen Kammern untergebracht, deren Türen ins Freie mündeten. Diese Maßnahmen wurden getroffen, um zu verhindern, daß Ölbrände oder Ölgasexplosionen und die als Folge-

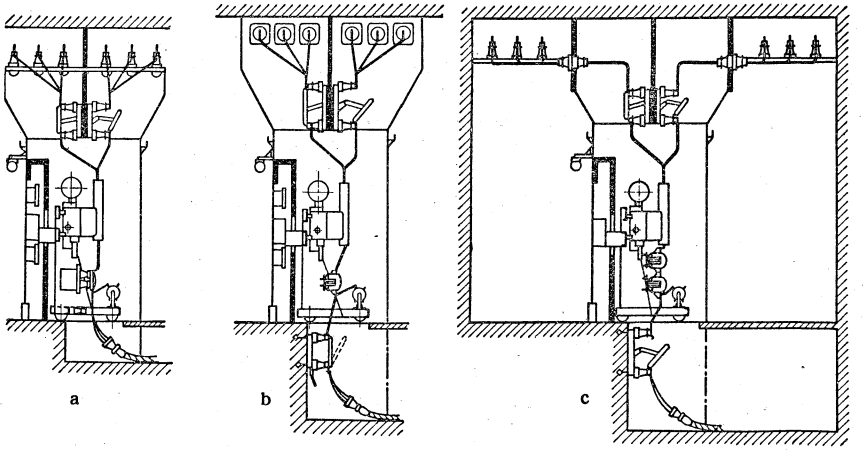


Bild 131. Beispiele von Querschnitten nach der AEG-Regelbauweise.

[1]) H. Probst, ETZ 42 (1921) Seite 585.

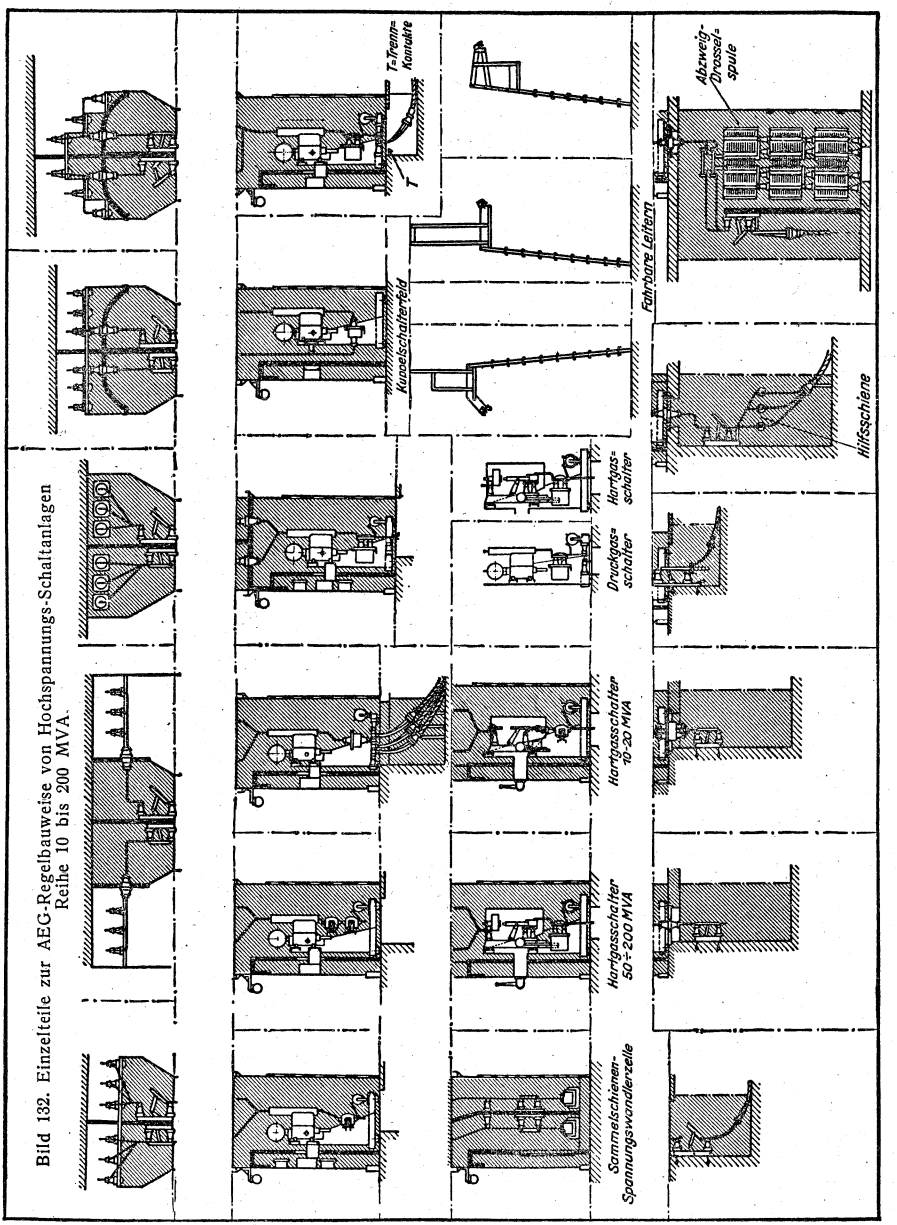


Bild 132. Einzelteile zur AEG-Regelbauweise von Hochspannungs-Schaltanlagen Reihe 10 bis 200 MVA.

erscheinung auftretende Verqualmung nicht auch die übrige Schaltanlage in Mitleidenschaft ziehen konnten.

Diese Brandgefahren, die sich durch die Aufspeicherung größerer Ölmengen in den Schaltanlagen ergaben, lösten bei den Betriebsleitern den Wunsch aus, das Öl nach Möglichkeit im Schaltanlagenbau zu vermeiden.

Bei den jahrelangen Versuchen, die in Deutschland u. a. in den Prüffeldern der AEG angestellt wurden, konnte von den verschiedensten Löschmitteln Druckluft als ideales Mittel für die Unterbrechung des Lichtbogens in Leistungsschaltern festgestellt werden. Der im Jahre 1929 herausgekommene Druckgasschalter hat dann auch in allen Netzen mit größter Abschaltleistung rasche Verbreitung gefunden. Eine weitere Folge war, daß man sich auch bei den Strom- und Spannungswandlern vom Öl als Isoliermittel freimachte oder wenigstens die Ölmengen auf das kleinstmögliche Maß verringerte.

Die Entwicklung ölloser Geräte hat dem Bau von Innenraum-Schaltanlagen neue Wege gewiesen. Die Forderung nach Vereinfachung und größerer Übersicht der Schaltanlagen sowie die Einsparung an Baukosten ließ sich dadurch erzielen, daß man die Sammelschienen und die Leistungsschalter mit einer Ausschaltleistung bis 200 MVA und 30 kV, d. h. von Anlagen, die man vorher bei gleicher Sicherheit zwei- bzw. dreistöckig ausführen mußte, in einem einzigen Stockwerk unterbringen konnte.

Die Vorteile der einstöckigen Anordnung liegen neben der Einsparung von Treppenhaus und Zwischendecke besonders darin, daß der Schaltwärter die in einem einzigen Stockwerk liegenden Schaltanlagenteile leichter übersehen und überholen kann.

Es wurden nach einem Vorschlag von G. Meiners Einheitsformen von Zellen bis 30 kV und Ausschaltleistungen bis 1000 MVA als „AEG-Regelbauweise" entwickelt. Sie gestattet, aus einer bestimmten Zahl von normalen Bausteinen, eine große Zahl verschiedenartiger Schaltanlagen für Planungszwecke zusammenzustellen. Dadurch wird eine gewisse Normung im Schaltanlagenbau erreicht, gleichzeitig aber den Betriebsleitungen ein Mittel an die Hand gegeben, ihre Wünsche für die Anordnung vor der Planung bekannt zu geben.

Die Zelle wird, wie Bild 130 zeigt, der Höhe nach aus 3 Teilen zusammengesetzt; aus dem Oberteil (Ob), der die Sammelschienen und Sammelschienen-Trennschalter aufnimmt, aus dem mittleren Teil (Mi) zur Aufnahme des Leistungsschalters, der Hochspannungs-Bedienungs-Schaltwand und in den meisten Fällen auch der Strom- und Spannungswandler, sowie aus dem Unterteil (Un), der zur Aufnahme des Kabeltrennschalters und der Kabelendverschlüsse dient. Durch die beliebige Zusammen-

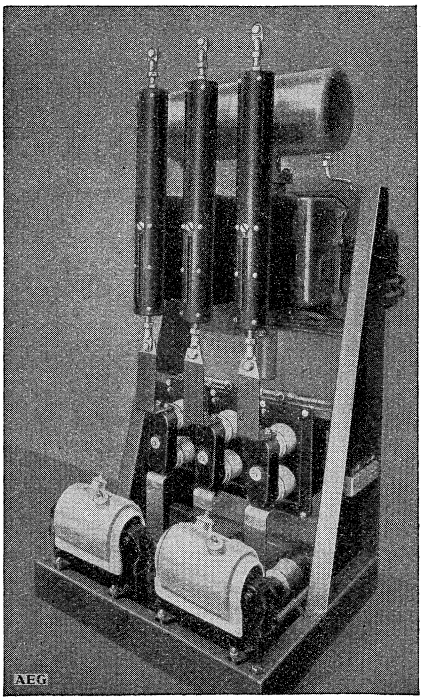


Bild 133. Druckgasschalter mit Meßwandlern auf fahrbarem Grundrahmen.

setzung der Teile „Ob", „Mi" und „Un" können die verschiedenartigsten Anordnungen von Hochspannungs-Schaltanlagen geschaffen werden.

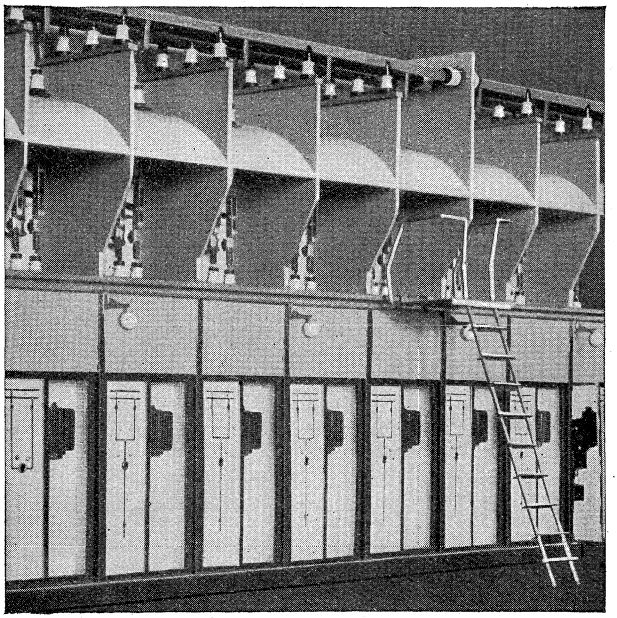


Bild 134. Bedienungs-Schaltwand.

In dem umstehenden Bild 131 sind drei weitere Beispiele aus der Zahl der möglichen Entwürfe herausgegriffen, von deren Vielfältigkeit Bild 132 nur einen Überblick geben soll. Sie unterscheiden sich in erster Linie durch die Anordnungen der Sammelschienen. Die im Querschnitt „a" gezeigte Sammelschienenanordnung ist zwar die billigste Lösung, sie ist aber nur für kleinere Schaltanlagen zu empfehlen, die aus wenigen Feldern bestehen und bei denen derLichtbogenschutz entbehrt werden kann.

Bei der Sammelschienenanordnung nach „b" wird der Lichtbogenschutz von den Trennwänden der Zellen selbst gebildet. Die Durchführungen sind gleichzeitig Träger der Sammelschienen. Ein Nachteil dieser Anordnung ist die schwierigere Auswechselung von Sammelschienen und Durchführungen im Falle einer Zerstörung durch Kurzschluß.

Bei Sammelschienen von 500 qmm und darüber, d. h. bei Magnesium-Sammelschienen sind die Anordnungen nach Bild 131 „a" und „b" nicht zulässig.

Bei der Lösung nach „c" besteht der Lichtbogenschutz aus senkrechten Isolierwänden, welche die Durchführungen tragen. Der Aufbau ist übersichtlich und zweckmäßig und benötigt eine geringere Raumhöhe als die im Bild 130 gezeigte Lösung. Bei dieser liegen die Durchführungen im geraden Teil einer teilweise gebogenen Lichtbogen - Schutzplatte, deren Form aus mechanischen und aus Gründen des Lichtbogenschutzes gewählt wurde. Bei allen Trennschalter-

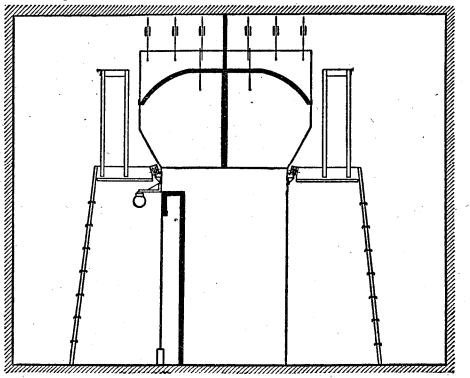


Bild 135. Fahrbare Leitern für Hochspannungsanlagen nach der Regelbauweise.

anordnungen ist Wert auf eine möglichst hohe Lage der Trennschalter gelegt, damit beim Auftreten von Lichtbogenerscheinungen ein vor der betreffenden Zelle stehender Wärter vor den Auswirkungen des Lichtbogens möglichst geschützt ist. Die Sammelschienen-Trennschalter, die in mittleren und größeren Hochspannungs-Schaltanlagen nur noch dreipolig ausgeführt werden, können mit Hand- oder mit Druckluftantrieb ausgerüstet werden. Die Mittelteile (Mi) enthalten in der Hauptsache die Druckgasschalter mit den Strom- und Spannungswandlern, die auf einem Grundrahmen fahrbar angeordnet sind (Bild 133). Das Betätigungsventil des Druckgasschalters ist mit dem Grundrahmen mechanisch verbunden, so daß die zwischen Ventil und Schalter erforderlichen Druckluftleitungen in der Werkstatt fertig verlegt werden können.

Die einzelnen Mittelteile unterscheiden sich im wesentlichen durch die Zahl und Type der Wandler, die erst bei der Planung bestimmt werden kann.

Die Hochspannungs-Bedienungs - Schalt - wand ist ein wichtiger Teil für den Aufbau der neuzeitlichen Schaltanlage. Auf der Schaltwand sind die Betätigungs- und Stellungsmeldegeräte in einem die Leitungsführung darstellenden Blindschaltbild (siehe Seite 242) angeordnet (Bild 134). Außerdem sind hier in schrankartig ausgebildeten Räumen die Schutzrelais, Meßgeräte und Zähler untergebracht. Diese Nischen nehmen auch die Reihenklemmen, Meß- und Betätigungsleitungen und die Rohrleitungen sowie die Ventile für die Druckluftzuführung auf. Gegen den Bedienungsgang sind diese Räume teilweise durch Spiegeldrahtglastüren abgeschlossen. Die Rückwand des Schrankes besteht aus feuerfestem Werkstoff, so daß dadurch ein Schutz erzielt wird, ähnlich wie er im Bild 127 gezeigt wurde.

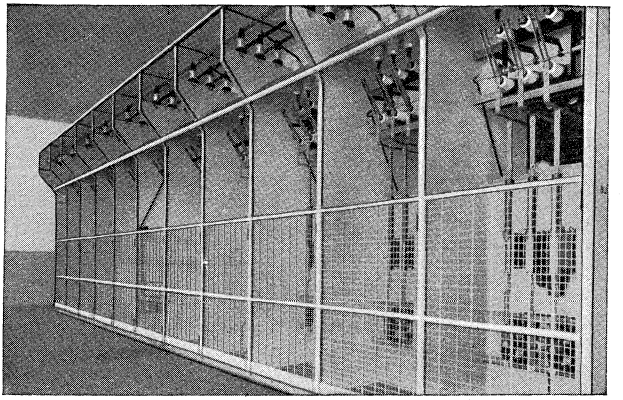


Bild 136. Rückansicht einer einstöckigen 6 kV-Industrie-Schaltanlage.

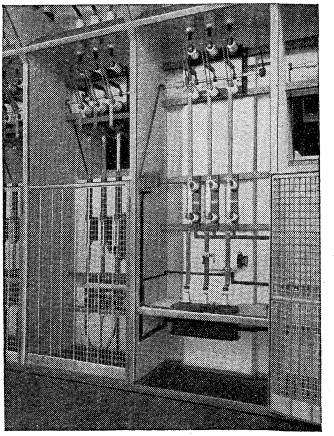


Bild 137. Teilaufnahme von Bild 136

Die Unterteile der AEG-Regelbauweise (Un) nehmen die Trennschalter und Kabelendverschlüsse für die abgehenden oder ankommenden Kabel auf. Ihre Anordnung muß sich nach den örtlichen Verhältnissen richten. Hierdurch wird auch die Wahl zwischen Trennschaltern üblicher Bauart und Schubtrennschaltern bestimmt. Wenn es möglich ist, sollte man den Kabelkeller begehbar machen. Bereitet die Unterbringung der Kabeltrennschalter Schwierigkeiten, dann kann durch die Verwendung von Trennkontakten, wie sie bei Schaltwagen (vgl. S. 227) üblich sind, Ersatz für die Trennschalter geschaffen werden. Beim Einbau von Re-

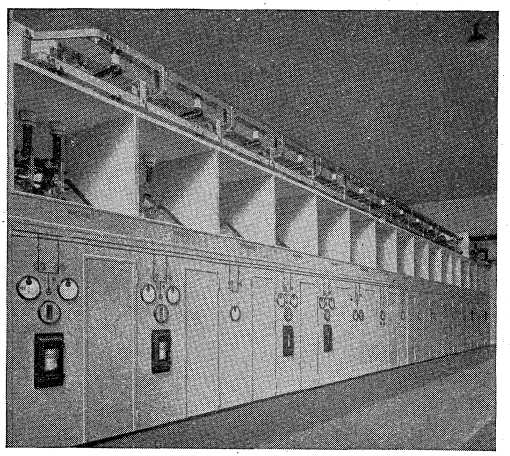


Bild 138. Ansicht einer Bedienungs-Schaltwand 6 kV.

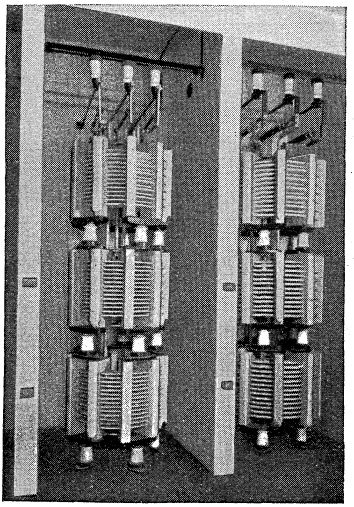


Bild 139. Einbau von Schutzreaktanzen in einer 6-kV-Schaltanlage.

aktanzspulen in den Stromkreis der abgehenden Kabel ist ein Kabelkeller, dessen Höhe von den Abmessungen der Reaktanzen abhängig ist, erforderlich.

Um zu vermeiden, daß für Einbau und Überholungszwecke Leitern vom Schaltwärter in den Hochspannungsraum gebracht werden müssen, was zu unbeabsichtigtem Berühren von unter Spannung stehenden Geräten und Leitungen führen kann, ist die Anordnung einer fahrbaren Arbeitsbühne mit fest angebauter Leiter ratsam. Diese Bühne kann auf einer Schiene von Zelle zu Zelle verschoben werden (Bild 135).

Die Wandarme für die Raumbeleuchtung sind auf beiden Seiten des Hochspannungsgerüstes oder an den Wänden des Schaltraumes in einer solchen Höhe außerhalb des Hochspannungsbereiches angebracht, daß das gelegentliche Auswechseln von Lampen gefahrlos durchgeführt werden kann.

Für Anlagen mit Ausschaltleistungen von 200 bis 1000 MVA treten die vorbeschriebenen einstöckigen Anordnungen gegenüber den zweistöckigen dann in den Hintergrund, wenn bei der einstöckigen Bauweise die Raumhöhe unzweckmäßig groß wird. Auf die zweistöckige Regelbauweise von Hochspannungs-Schaltanlagen kann im Rahmen dieses Buches nicht eingegangen werden.

Als Ergänzung der Ausführungen über die einstöckigen Schaltanlagen sollen noch einige Aufnahmen von ausgeführten Anlagen folgen. Bild 136 zeigt die Rückseite einer 6-kV-Industrie-Schaltanlage. In dieser Aufnahme sind auch die Drahtgittertüren, die als Berührungsschutz zum Abschluß der Zellen verwendet werden, erkennbar. In Bild 137 ist der Einbau eines Spannungswandlers mit vorgeschalteten Sicherungen festgehalten. Bild 138 gibt eine Ansicht der 6-kV-Bedienungs-Schaltwand in einem Umspannwerk. Der Einbau von Schutzreaktanzspulen ist aus Bild 139 zu ersehen.

Die Stromversorgung von Sicherheitseinrichtungen in Schaltanlagen.

In betriebswichtigen Schaltanlagen ist zur Betätigung der Sicherheitseinrichtungen, z. B. der Signalstromkreise, Auslösestromkreise von Schutzrelais usw., eine von der Eigenanlage unabhängige Stromquelle erforderlich. Als solche kommen Akkumulatoren zur Anwendung. Die Größe (Kapazität) und die Spannung der Batterie sind vom Umfang der Schaltanlage abhängig, wobei wieder die Beanspruchung durch die Anzahl der Auslösungen usw. mitbestimmend ist. Als niedrigste Spannung wird von der AEG

eine Sollspannung von 40 V empfohlen. Mit Rücksicht auf Übergangswiderstände an Kontakten, die durch Oxydbildung und Staub verursacht werden können, ist man von der Anwendung niederer Spannungen abgegangen.

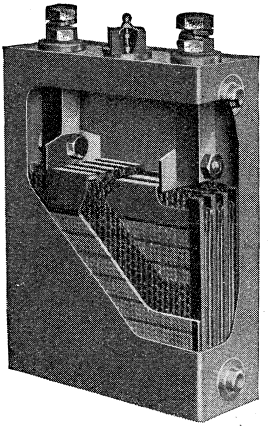


Bild 140. Stahlzelle mit besonders hohem Elektrolytraum.

In Stationen ohne Wartung verwendet man Kleinbatterien, die etwa alle halbe Jahre zwecks Aufladung ausgewechselt werden. Für diese Batterien haben sich Stahlakkumulatoren (Edison-Akkumulatoren) (Bild 140) gut bewährt, da sie eine besonders geringe Selbstentladung haben. Für eine Anzahl von Stationen ist nur eine Austauschbatterie erforderlich, die an Stelle der entladenen Batterie den Betrieb übernimmt, während die letztgenannte aufgeladen und überholt wird, um wieder als Austauschbatterie in einer anderen Anlage verwendet zu werden.

Bei Batterien dagegen, die einer steten, wenn auch geringen Beanspruchung ausgesetzt sind, sieht man ortsfeste Batterien mit einer Dauerladevorrichtung (Trockengleichrichter) vor (Bild 140a), wobei die Dauerladestromstärke, wie bei Bleibatterien, nur gering ist.

Für die Dauerladung einer Stahlbatterie wird eine Zellenspannung von etwa 1,45 V zugrundegelegt.

Die Entladespannung wird durch die Ladeeinrichtung (Trocken- oder Glühkathodengleichrichter) konstant gehalten. Ist die Entladung stärker als die eingestellte Dauerladung, so kann bei Stahlzellen die Batteriespannung auf den Wert Zellenzahl $\times$ 1,2 V sinken. Bei Starkladung kann die Batteriespannung den Wert Zellenzahl $\times$ 1,75 V annehmen.

Für die Bemessung des Ladegerätes ist zu berücksichtigen, daß der Dauerladestrom zur Aufrechterhaltung der Ladung ohne Beanspruchung der Batterie etwa $^1/_{150}$ des Fünfstundenstromes sein wird.

Für die Starkladung wählt man zweckmäßig einen Strom, mit dem die Batterie in 10 h voll aufzuladen ist.

Dieser Strom ist gleichzeitig der Nenn-Gleichstrom des Gleichrichters.

An Hand eines Beispieles soll die Bestimmung einer Betätigungsbatterie für eine Schaltanlage mit 8 Leistungsschaltern gezeigt werden, deren Schaltmagnete zusammen etwa 5600 W aufnehmen. Außerdem sollen 64 Signallampen je 15 W und 10 Notbeleuchtungslampen je 25 W bei 5 Brennstunden angeschlossen sein. Wegen des Spannungsabfalls wird die Batteriespannung mit 60 V gewählt.

Für die Berechnung der Zellenzahl wird zweckmäßig ein Faktor von 1,35 gewählt. Die Zellenzahl ist dann

$$\frac{\text{Nennspannung}}{1{,}35} = \frac{60}{1{,}35} = 45 \text{ Zellen.}$$

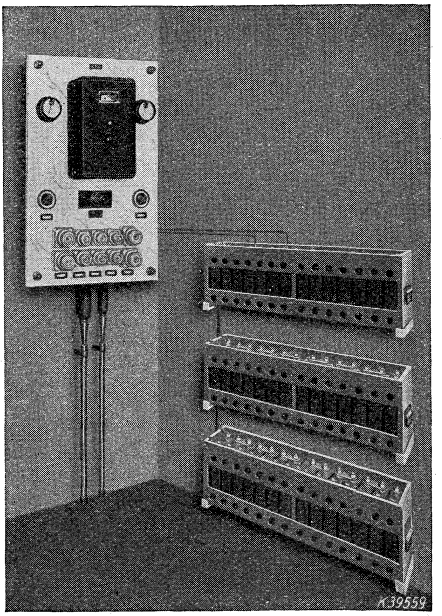


Bild 140a. Ortsfeste Stahlbatterie für 40 V auf Konsolen, mit Lade- sowie Verteilungsschalttafel.

Die niedrigste Batteriespannung ist: $45 \times 1{,}2 = 54$ V (10% —)
Die höchste Batteriespannung ist: $45 \times 1{,}75 = 79$ V (32% +)

Zellengröße oder Kapazität: Zugrunde zu legen ist die Notbeleuchtung: 10 Lampen je 25 W = 250 W. $\frac{250}{60} = 4{,}2$ A $\times$ 5 Stunden = **21 Ah.**

Kontrolle der Kapazität für die Betätigung: Es wird angenommen, daß ein Drittel der Schalter und Signallampen gleichzeitig arbeiten. Die Belastung ist also

$$\frac{5600+64\times 15}{3} = \frac{6560}{3} \cong 2200 \text{ W}.$$

Stoßstrom: etwa $\frac{2200 \text{ W}}{60 \text{ V}} = 37$ A.

Mittlere Stoßüberlastbarkeit = 5facher Fünfstundenstrom.

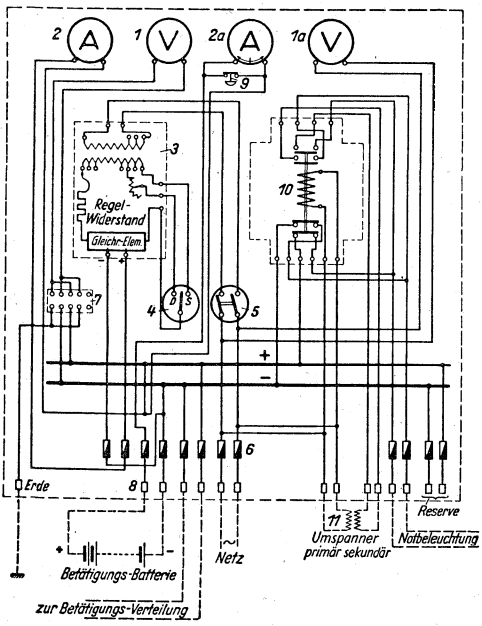
Somit beträgt der Fünfstundenstrom $\frac{37}{5} = 7{,}4$ A.

Gewählt wird eine listenmäßige Batterie von **46 Ah** = 9,2 A während 5 Stunden.

Gleichrichterbestimmung:
Dauerladung unter der Annahme, daß keine Stromentnahme erfolgt: $\frac{9{,}2}{150} = 0{,}06$ A.

Da zeitweise Signallampen brennen können, so ist der Dauerladestrom größer zu wählen, geschätzt etwa **0,2 A**. Empfehlenswerte Änderung des Ladestromes $\pm$ 25%.

Starkladung: Aus der Batterieliste ergibt sich: Volle Ladung mit 9,2 A während 7 Stunden = $9{,}2 \times 7 = 64{,}4$ Ah. Bei Starkladung soll die vollkommen entladene Batterie in etwa 10 h vollgeladen sein. Ladestrom in diesem Falle also $\frac{64{,}4}{10} = 6{,}4$ **A.** Gewählt wird der nächst größere Gleichrichter für **8 A** Nenn-Gleichstrom. Da der mittlere Ladestrom etwa **6 A** beträgt, so lädt dieser die Batterie voll in $\frac{64{,}4}{6} \cong 11$ **Std.**



Die einzelnen Zellen der Stahlbatterie werden üblicherweise in offene Holzträger eingebaut. Bild 140b zeigt eine ortsfeste Stahlbatterie in Holzträgern auf Konsolen aufgebaut.

Wenn eine Kleinbetätigungsbatterie zur Beleuchtung benutzt wird, empfiehlt es sich, die Notbeleuchtungsanlage über ein Umschaltrelais anzuschließen (Bild 140b). Das Umschaltrelais

1 = Gleichstrom-Spannungsmesser,
1a = Wechselstrom-Spannungsmesser,
2 = Gleichstrommesser für Ladung,
2a = Gleichstrommesser für Verbrauch,
3 = Trockengleichrichter mit Umspanner,
4 = Umschalter für Schnell- bzw. Dauerladung,
5 = Wechselstromschalter,
6 = Sicherungen,
7 = Umsteckvorrichtung f. Spannungsmessung und Erdkontrolle,
8 = Anschlußklemmen,
9 = Kurzschließer für Strommesser 2a,
10 = Umschaltrelais,
11 = Umspanner für Notbeleuchtung.

Bild 140b. Schaltplan mit selbsttätiger Umschalteinrichtung für Notbeleuchtung von Netz auf Batterie und zurück.

sorgt dafür, daß nur beim Ausbleiben der Netzspannung die Speisung aus der Betätigungsbatterie erfolgt. Bei Wiederkehr der Netzspannung schaltet das Umschaltrelais selbsttätig zurück.

In Kraftwerken, großen Umspann- und Gleichrichterwerken, wird die Betätigungsstromquelle gleichzeitig für Kraft- und Notbeleuchtungszwecke herangezogen. Für die Bemessung dieser Batterien ist dann, wie das Beispiel zeigt, der Bedarf der Notstromkreise und lebenswichtigen Anschlüsse ausschlaggebend. Die Spannung dieser Großbatterien beträgt 110 bzw. 220 V. Die Ladung und Entladung erfolgt nach den in den Abschnitten „Stromerzeugung" und „Gleichrichter" gebrachten Schaltplänen.

Richtlinien für den baulichen Teil von Schaltanlagen.

Vor der Errichtung von Hochspannungs-Innenraum-Schaltanlagen ist eine Reihe von baulichen Fragen zu klären. Es sollen deshalb einige Hinweise dazu gegeben werden.

Für die Planung einer Schaltanlage sind vom Besteller folgende Angaben einzufordern, die am besten durch eine einfache Skizze belegt werden.

a) Örtliche Lage der Schaltanlage oder der Station.
b) Sind spätere Erweiterung und nach welcher Richtung geplant?
c) Richtung der zu- und abgehenden Kabel oder Freileitungen.
d) Ist ein Anschlußgleis vorhanden oder geplant, wenn ja, Lage desselben.
e) Liegen außergewöhnliche Verhältnisse vor, z. B. Tropen- oder Seeklima, feuchte Räume usw.

Im Baugewerbe ist es üblich, Mauerstärken als Rohbaumaße, d. h. ohne Verputz, in die Baupläne einzutragen. Man spricht von 12er, 25er und 38er Mauern usw. Der Erbauer von Schaltanlagen muß aber mit Fertigmaßen rechnen.

Deutsche Normziegel haben die Abmessungen:
$25 \times 12 \times 6{,}5$, der Verputz muß mit 1,5 cm Stärke, die Stoßfuge mit 1 cm Breite angenommen werden.

Die ½ Stein starke Mauer ist demnach $= 12 + (2 \times 1{,}5) = 15$ cm.
Die 1 Stein starke Mauer $= 25 + (2 \times 1{,}5) = 28$ cm.
Die 1½ Stein starke Mauer $= 25 + 1 + 12 + (2 \times 1{,}5) = 41$ cm.

Für die Berechnung von Zwischendecken ist nicht nur die ruhende Last der Zellen, Eisengerüste und Geräte einzusetzen, sondern es sind auch auftretende stoßweise Belastungen zu berücksichtigen, die beim Schalten von Leistungsschaltern auftreten können.

Die Trägerteilung der Decken muß mit der Zellenteilung der Schaltanlage übereinstimmen.

Bei Zellenteilungen bis 1,25 m wählt man als Trägerteilung die doppelte Zellenteilung, Aussparungen für Durchführungen in der Decke sind im Rohbau vorzusehen.

Für Umspannerkammern werden Be- und Entlüftungsschächte erforderlich; über Bemessung derselben siehe Abschnitt „Umspanner".

Für Umspanner, die größere Ölmengen enthalten, etwa von 100 kVA aufwärts, ist die Anlage von Ölgruben anzustreben. In diesen Ölgruben ist auf einem starken Drahtgitterrost eine etwa 20 cm dicke Schicht von Schotter oder grobem Kies aufzuschütten, damit brennendes Öl beim Durchsickern gelöscht wird. In staubigen Betrieben, z. B. Zementfabriken, ist die Schüttung von Zeit zu Zeit zu reinigen.

Bei gleichzeitiger Aufstellung mehrerer Umspanner sind die Ölgruben mit Ölabflußrohren von 125 mm lichter Weite aufwärts zu versehen, die mit einem Gefälle von etwa 2% nach einer gemeinsamen Ölfanggrube geleitet werden. Die Ölgrube soll einige Meter vom Gebäude entfernt angelegt und durch einen Schachtdeckel zugänglich gemacht werden.

Der Entlüftungsschacht ist gegen Eindringen von Regenwasser mit Jalousien auszustatten.

In Gegenden, die unter Insektenplage leiden, sind diese Öffnungen außerdem durch Drahtgaze und dergleichen gegen das Eindringen von Insekten und Vögel zu schützen.

Es ist aber zu beachten, daß durch diese Maßnahmen bis zu 50% des erforderlichen Luftquerschnittes verlorengehen.

Nach VDE 0210 § 4 muß der tiefste Punkt einer Freileitung von 1 kV und darüber mindestens 6 m vom Erdboden entfernt sein. Das gilt auch für die Freileitungseinführungen.

Bei Überkreuzungen von Wegen, die mit Gespannen oder maschinell gezogenen Fuhrwerken befahren werden können, ist dieses Maß auf 7 m zu erhöhen.

Für die statische Nachrechnung einer Freileitungsabspannung sind dem Bauausführenden der Querschnitt der Leitung, der Phasenabstand und die zulässige Zugspannung in kg/mm² bekanntzugeben. Für Aluminiumseil beträgt diese 8 kg/mm² (siehe auch Abschnitt „Verlegung von Freileitungen").

Der nächste Mast soll etwa 20 m von der Station entfernt zur Aufstellung kommen, damit der Blick auf die Station nicht beeinträchtigt wird.

Hochspannungsräume und Bedienungsgänge sollen zwei Ausgänge besitzen. Türen müssen nach außen aufgehen.

Holztüren sind wegen der Feuchtigkeitsaufnahme in Schalthäusern durch gepreßte Stahltüren verdrängt worden.

Die Schlüsselfrage ist rechtzeitig mit dem Elektrizitätswerk zu klären, da von den E-Werken vielfach bestimmte Einheitsschlüssel für alle Stationen vorgeschrieben werden.

Niederspannungs-Schalttafeln in Netzstationen sind durch Blechtüren von außen zugänglich zu machen, damit in Gefahrenfällen Leitungen abgeschaltet werden können, ohne daß man den Hochspannungsraum betreten muß.

Bei freistehenden Stationen werden die Fenster wegen Einwurfgefahr vorsichtshalber mit Drahtglas eingeglast.

Zur Minderung der Staubbildung sind Zementestrichfußböden durch einen geeigneten Anstrich zu härten.

Zellenwände werden aus Duro- oder ähnlichem Baustoff hergestellt. Zum Anstreichen der Zellenwände eignen sich matte, helle Leimfarben.

Eisengerüste sind mit Ölfarbe zu streichen. Der Anstrich der Zellen darf erst nach dem Trocknen der Wände vorgenommen werden, um Fleckenbildungen zu vermeiden.

Die Trocknung des Baues mit offenem Koksfeuer muß vor dem Montagebeginn erfolgen, damit keine Beschädigung der Geräte durch Kohlenoxydgas möglich ist.

Zum Schutz gegen Berührung der spannungführenden Teile werden in kleinen Stationen hölzerne Schutzstangen verwendet.

Bei größeren Schaltanlagen versieht man die rückwärtige Zellenfront mit Türen aus Drahtgitter oder Streckmetall.

Die Felder der Betätigungsschaltwand und die zugehörigen rückwärtigen Zellen sind gleichlautend zu beschriften.

Die Inbetriebnahme einer Schaltanlage soll erst dann erfolgen, wenn alle Fertigstellungsarbeiten beendet sind. Erst nach nochmaliger Prüfung aller Leitungsanschlüsse und Kontakte und nach dem Reinigen aller Isolatoren und Geräte darf die Anlage unter Spannung gesetzt werden.

An den Türen sind gleichzeitig die vorschriftsmäßigen Warnungstafeln anzubringen.

Schalt- und Umspannstationen.

Es sollen hier nur Anschlußanlagen für kleinere und mittlere Industriebetriebe sowie Schalt- und Umspannstationen ähnlicher Größe für Stadt- und Überlandnetze dargestellt werden. Bei diesen sind zu unterscheiden: Stationen mit **Kabelzuführung** und solche mit **Freileitungsanschluß.**

Der Aufbau der ersteren ist einfach, weil sie durchweg einstöckig ausgeführt werden können. Die Wahl der Leistungsschalter richtet sich nach der geforderten Ausschalt-

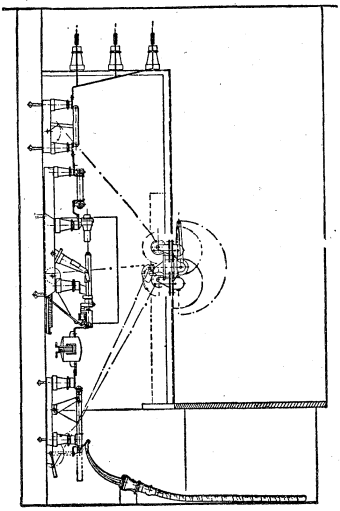


Bild 141. Skizze einer Zelle mit Hartgas - Leistungs - Trennschaltern und angebauten Hochleistungssicherungen.

leistung. Bis 20 MVA bei 10 kV bzw. 50 MVA bei 20 kV können Hartgas-Leistungs-Trennschalter mit angebauten Hochleistungssicherungen verwendet werden. Bild 141 zeigt eine mit diesen Schaltern und Sicherungen ausgerüstete Zelle für eine Schaltstation. Wegen des geringen Umfanges der Station fehlt vor den Einfachsammelschienen der Lichtbogenschutz. Trennschalter und Hartgasschalter sind mit Steigbügelantrieben versehen. Als Kabeltrennschalter ist ein Schubtrennschalter eingebaut, der die Möglichkeit zuläßt, eine Abdeckplatte nach Öffnen des Schalters so zwischen dessen Trennstrecke einzuschieben, daß der Schaltraum gegen den Kabelendverschluß abgeschlossen ist. Damit ist ein gefahrloses Arbeiten innerhalb der Leistungsschalterzelle möglich.

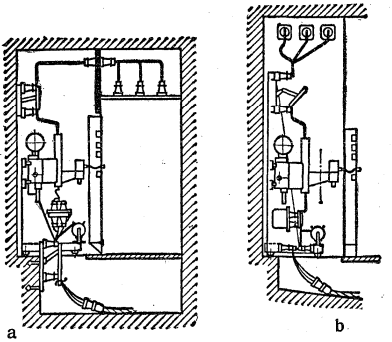
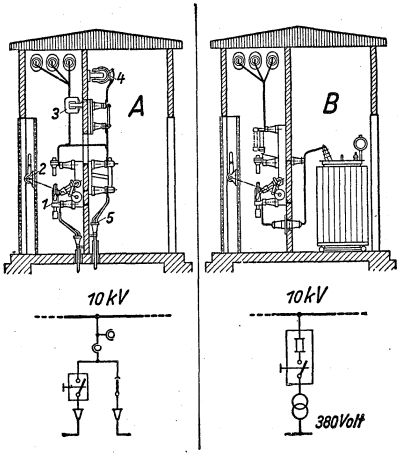


Bild 142. AEG-Regelbauweise, Einfach-Schienen; ein Gang.

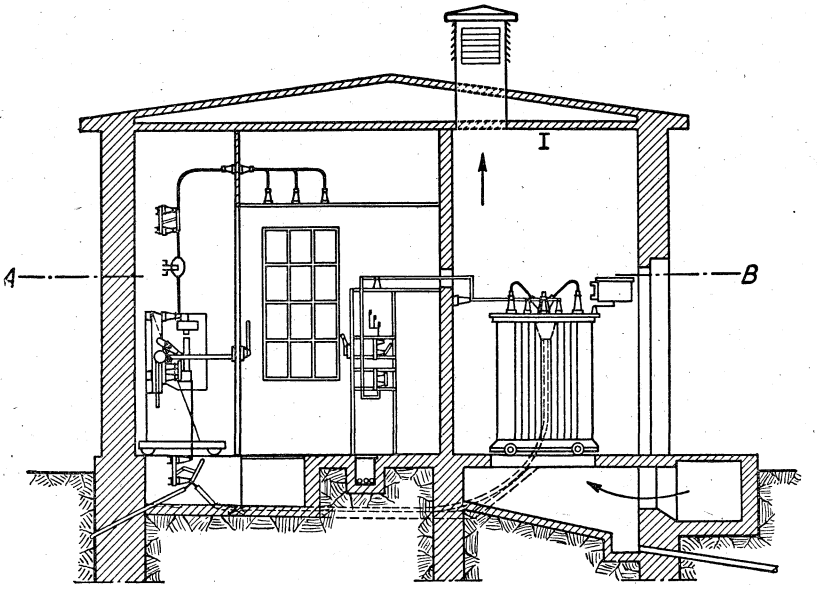


1 = Leistungstrennschalter,
2 = Handantrieb für 1,
3 = Stromwandler,
4 = Spannungswandler,
5 = Isolierendverschluß.

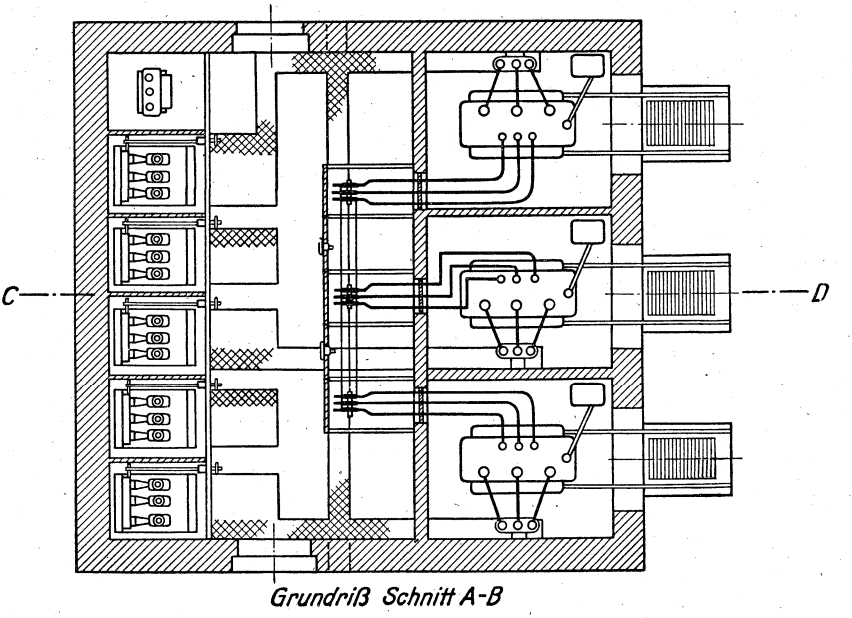
Bild 141a. Ausläuferstation mit Hartgasschaltern und Kabelzuleitung.

Der Einbau von Hochspannungsgeräten in eine Ausläuferstation mit Kabelanschluß ist in Bild 141a in 2 Querschnitten dargestellt. Die den Schnittzeichnungen angefügten Schaltpläne zeigen schaltungstechnisch den Aufbau der Station. Aus dem Schnitt A und dem zugehörigen Schaltplan geht hervor, daß dieses Feld die Schaltgeräte für ein eingeschleiftes Kabel sowie die Meßwandler für die hochspannungsseitige Zählung der Station enthält.

Schnitt B zeigt den Anschluß für einen Umspanner bis 200 kVA. In diesem Fall wird die Nennleistung durch einen Hartgas-Leistungstrennschalter von Hand abgeschaltet, während im Kurzschlußfall die Hochleistungssicherungen den Stromkreis unterbrechen. In ihrem Gesamtaufbau ist die Schaltanlage ein verhältnismäßig niedriges Gebäude aus Durofix, einem nichtbrennbaren Baustoff, mit wetterfestem Anstrich. Die gesamte Anlage kann in der Werkstatt fertig hergestellt und an Ort und Stelle in kurzer Zeit aufgebaut werden. Die Außenwände sind so ausgebildet, daß innerhalb des Gebäudes trotz der geringen Wandstärke nicht mit Schwitzwasser zu rechnen ist.



Schnitt C-D



Grundriß Schnitt A-B

Bild 143. Beispiel für den Einbau einer Umspannstation 10 kV in einem eigenen Gebäude.

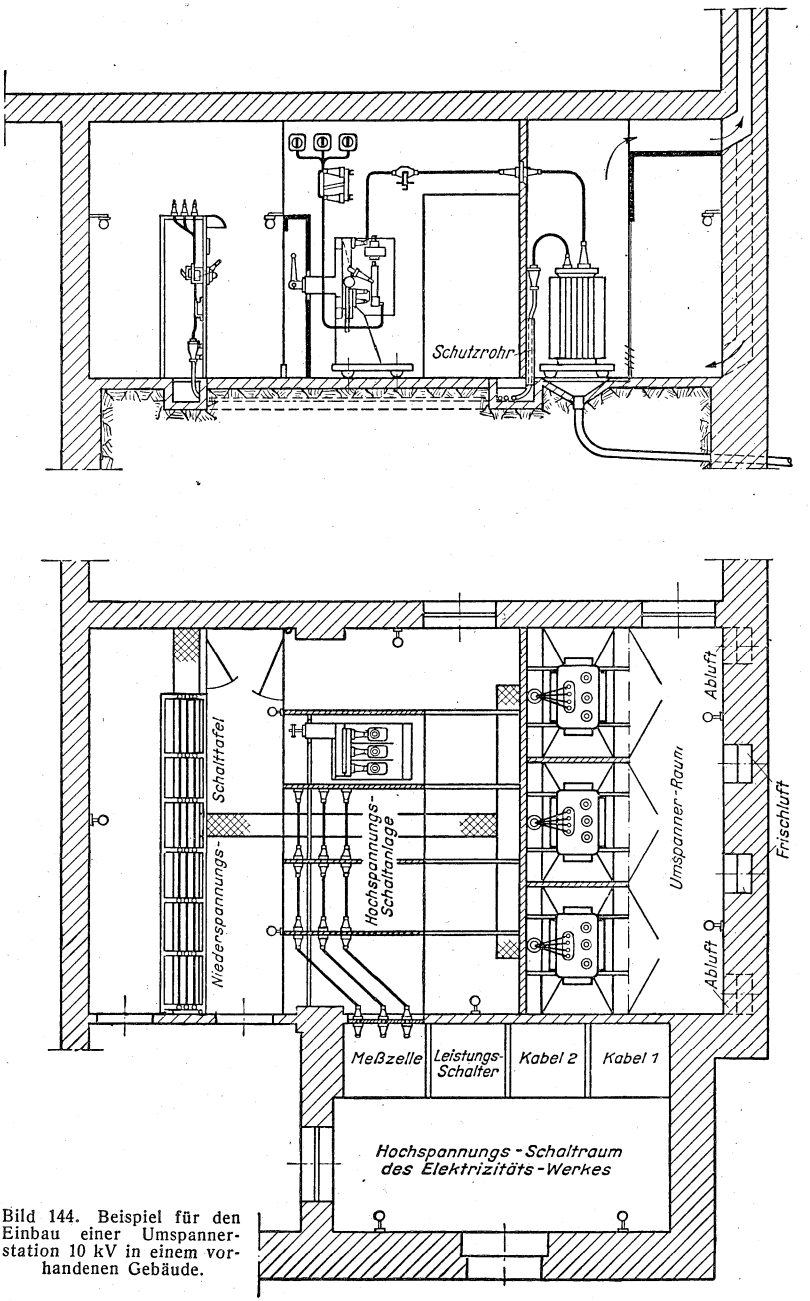


Bild 144. Beispiel für den Einbau einer Umspannerstation 10 kV in einem vorhandenen Gebäude.

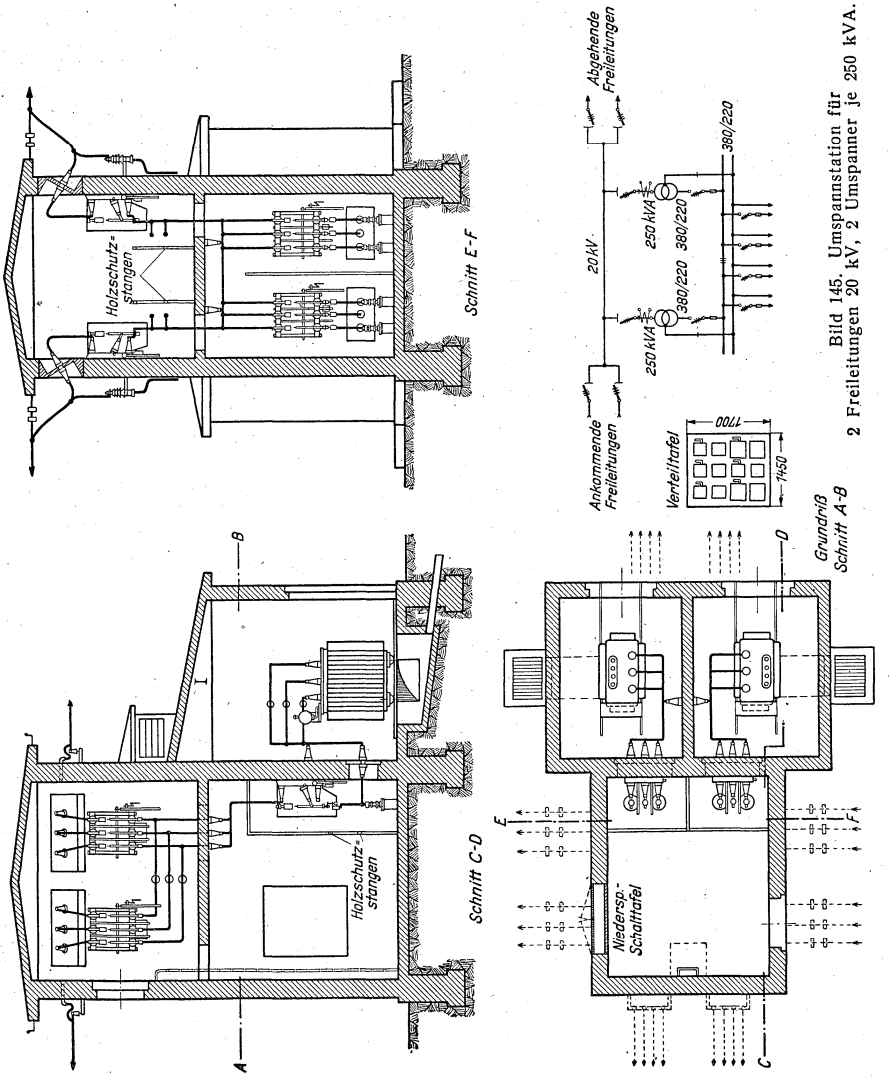


Bild 145. Umspannstation für 2 Freileitungen 20 kV, 2 Umspanner je 250 kVA.

Treten höhere Abschaltleistungen auf, dann kommen auch für Anschlußanlagen Druckgasschalter zur Verwendung. In Bild 142 sind zwei verschiedene Zellenaufbauten dargestellt. Bei „a" wird der auf Seite 212 beschriebene fahrbare Grundrahmen benutzt. Bei „b" ist dieser ausfahrbare Rahmen zur Aufnahme des dreipoligen Sammelschienen-Trennschalters erweitert; an Stelle des Kabeltrennschalters sind Trennkontakte vorgesehen. Die Verbindungsleitungen zwischen Sammelschienen und Trennschalter bei „b" sind flexibel hergestellt, damit das begrenzte Ausfahren des Rahmens möglich ist.

Wird für eine Station ein besonderes Gebäude errichtet, so ist für jeden Umspanner bei Leistungen von etwa 100 kVA ab eine Kammer vorzusehen, und zwar in einer solchen Größe, daß derselbe möglichst von allen Seiten zugänglich ist. Eine derartige Anordnung zeigt Bild 143. Diese Trennung der Umspanner voneinander hat den Zweck, das Übergreifen des Brandes von einem etwa in Brand geratenen Umspanner auf die andern zu verhüten. Für ausreichende Lüftung jeder Kammer ist Sorge zu tragen. Sie erfolgt durch einen von außen kommenden Luftkanal, der durch die Gründung bis unterhalb des Umspanners geführt wird, sowie durch eine Entlüftungshaube, die, auf das Dach aufgesetzt, der warmen Luft freien Abzug gestattet. Angaben über Bemessung der Zu- und Abluftkanäle siehe im Abschnitt „Umspanner".

Für die Einbringung des Umspanners in die Kammer sind im Fußboden zwei U- oder I-Eisen im Abstand der Transportrollen zu verlegen. Ebenso wichtig ist es, einen I-Träger in etwa doppelter Höhe über dem Standort des Umspanners einzubauen, damit erforderlichenfalls der Kern des Umspanners mit Hilfe eines am I-Träger befestigten Flaschenzuges aus dem Ölkasten herausgehoben und untersucht werden kann.

Ferner ist bei dem Entwurf auf möglichst kurze Verbindungen zwischen Umspanner und Niederspannungs-Schalttafel Wert zu legen. — Der Einbau einer Umspannstelle in ein vorhandenes Gebäude ist etwas schwieriger, da gewöhnlich nur Kellerräume

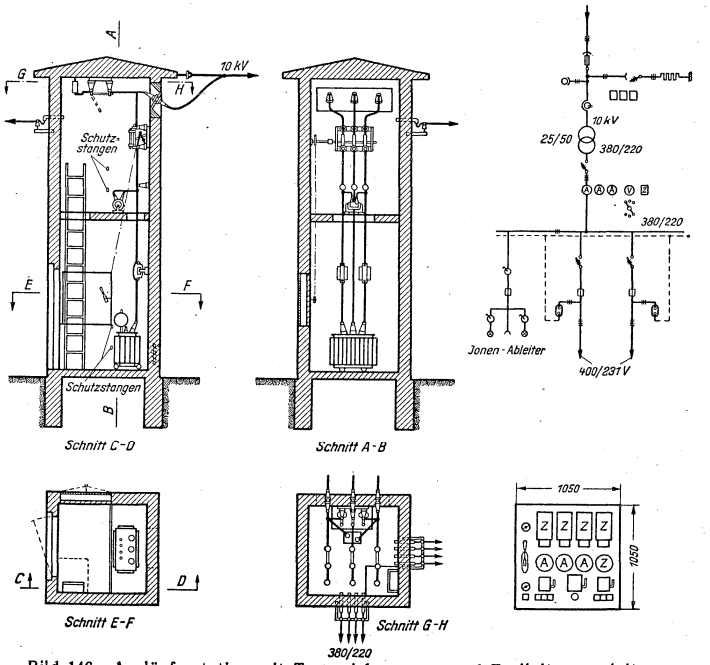


Bild 146. Ausläuferstation mit Trennsicherungen und Freileitungszuleitung.

zur Verfügung gestellt werden. In vielen Fällen läßt sich eine zweckmäßige Anordnung der Gesamtanlage nur dadurch erreichen, daß störende Wände ganz oder teilweise entfernt und dafür neue an passenden Stellen errichtet werden. Bild 144 zeigt ein Beispiel für die Anordnung solcher Stationen.

Wo diese an ein Elektrizitätswerk angeschlossen werden, ist der seitens des Werkes für die Schalt- und Meßeinrichtung verlangte Raum vorzusehen. An diesen muß sich dann der Hochspannungsraum des Stromverbrauchers anschließen, damit die aus dem Schaltraum des Werkes kommende blanke Hochspannungsleitung unmittelbar an die Sammelschiene angeschlossen werden kann. Die Schaltanlage ist hier so aufgestellt, daß sie von der Vorderseite und der Rückseite aus zugänglich ist.

Als Leistungsschalter sind, wie auch im vorhergehendem Beispiel, Hartgasschalter vorgesehen.

Die Umspanner werden auch in diesem Fall nach Möglichkeit in einem eigenen Raum aufgestellt. Wenn auch vielfach die Trennung nicht so weit möglich ist, wie in dem vorhergehenden Beispiel, so ist doch wenigstens eine Aufstellung wie in Bild 144 anzustreben. Die Lösung der Lüftungsfrage ist bei Einbaustationen nicht immer einfach. Nötigenfalls muß die natürliche Lüftung durch einen elektrischen Lüfter unterstützt werden. Der dritte zu der Station gehörige Raum dient zur Aufnahme der Niederspan-

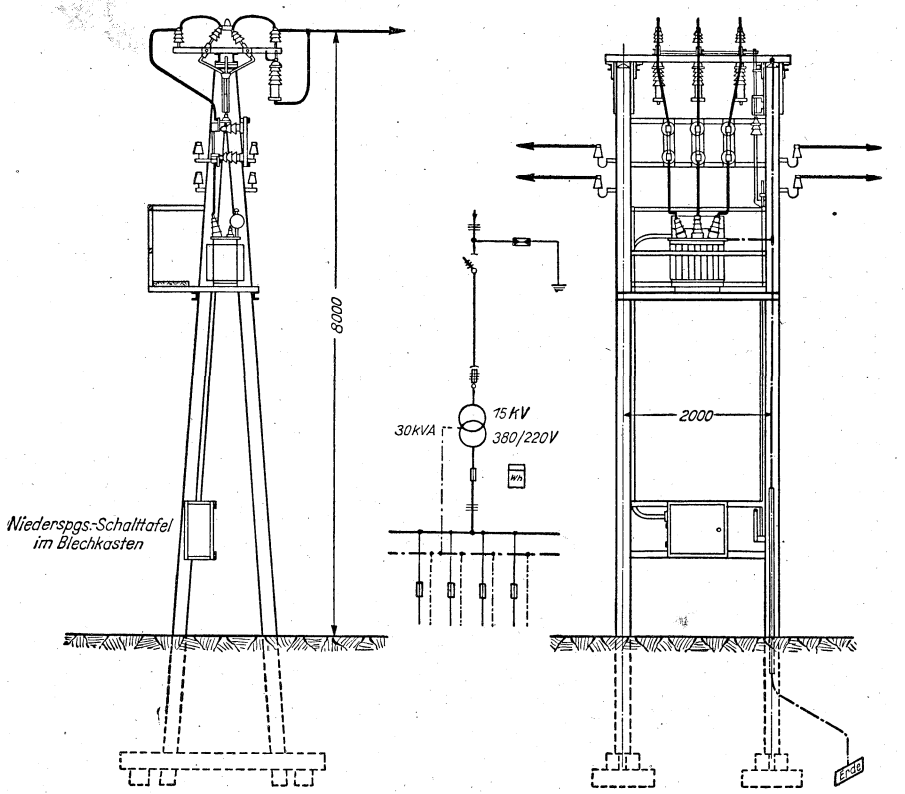


Bild 147. Mastumspannstation auf Doppel-A-Masten.

nungs-Schaltanlage. Auf dieser sind die unterspannungsseitigen Schalt- und Meßgeräte für die Umspanner und die zu den Verbrauchern führenden Abzweige angeordnet.

Die Verbindungsleitungen zwischen der Unterspannungsseite der Umspanner und der Schalttafel sind hier als Kabel, in Kanälen von etwa 20 bis 30 cm Tiefe verlegt, angenommen. Diese sind innerhalb des Umspannerraumes in einem Schutzrohr zu führen, um das Eindringen von ausfließendem Öl in den Kabelkanal und damit in den Schaltraum zu verhindern. Unterhalb des Umspanners ist ein Ableitrohr vorzusehen, damit ausfließendes oder in Brand geratenes Öl rasch abfließen kann.

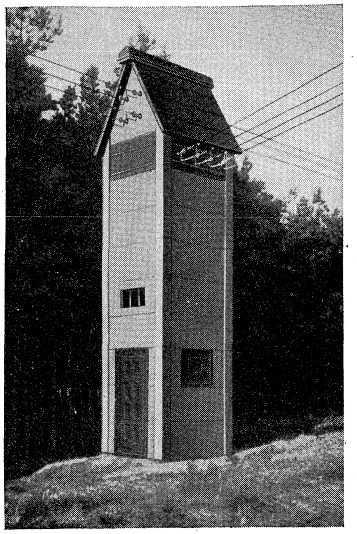


Bild 148. Ausläuferstation (Kunststein).

Die Anschlußstationen in Freileitungsnetzen kommen als Durchgangs- oder Endstationen vor. Das Beispiel einer Durchgangsstation zeigt Bild 145. Die 20-kV-Freileitungen sind in der Station mittels Leistungstrennschalter einzeln schaltbar. Für die Einführung der 20-kV-Leitungen in die Station werden Durchführungsisolatoren für 30 kV verwendet. SAW-Ableiter in Freiluftausführung sind unmittelbar vor der Einführung an die Freileitungen angeschlossen. Die Abspannung der Freileitungen am Gebäude geschieht mit Kappen- oder Vollkern-Isolatoren. Die beiden 250-kVA-Umspanner sind in getrennten Kammern aufgestellt. Die Frischluftzuführung für die Kühlung der Umspanner ist in diesem Falle von der Seite angenommen. Zum Schutz der Umspanner gegen Überlastung sind Relais vorgesehen, die an Stromwandler angeschlossen sind.

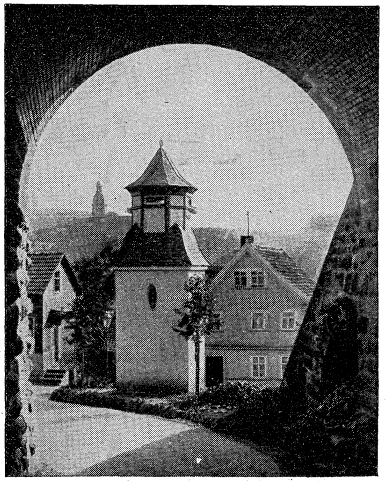


Bild 149. Gemauerte Netzstation der Landschaft angepaßt.

Die Schaltgeräte für die 380/220-Volt-Seite sind auf einer Schalttafel untergebracht, die durch eine zweiflügelige Tür von außen zugänglich ist. Die Verbindung zwischen der Niederspannungstafel und den Freileitungen wird mittels isolierter Leitung hergestellt. Für die Durchführung durch die Wand werden Porzellanpfeifen benutzt. Für den Aufstieg in das obere Stockwerk ist eine fest eingebaute eiserne Steigleiter vorgesehen. Schutzstangen werden als Berührungsschutz für den Bedienenden im Ober- und Untergeschoß angebracht.

Eine gemauerte Endstation für 10 kV ist in Bild 146 dargestellt. Für den Schutz des Umspanners ist eine dreipolige Trennsicherung eingebaut. Der Antrieb dieser schaltbaren Sicherung wird auf der Niederspannungstafel angebracht und kann derartig verriegelt werden, daß beim Abschalten zuerst der Niederspannungsschalter zu bedienen ist, ehe die Trennsicherung ausgeschaltet werden kann. Bei der Einschaltung verfährt man umgekehrt, indem man zuerst

die Hochspannungssicherung und dann den Niederspannungsschalter einschaltet. Die Niederspannungsschalttafel ist auch in diesem Falle von außen zugänglich. Als Überspannungsableiter ist hier die Innenraumtype vorgesehen. Die Ableiter sind durch Trennschalter abschaltbar gemacht.

Die abgehenden Niederspannungs-Freileitungen sind durch Ionenableiter gegen Überspannungen geschützt.

Die Mastumspannstation ist in der Ausführung die billigste. Die Kosten für die Unterhaltung derselben sind aber höher als diejenigen für die gemauerten Stationen, dazu kommt, daß die Betriebssicherheit und Zugänglichkeit bei gemauerten Stationen größer ist. Aus diesen Gründen ist die Verwendung der Maststationen in Deutschland sehr zurückgegangen. Die Maststation nach Bild 147 besteht aus zwei A-Masten. Am Zopfende ist der Masttrennschalter angebracht, der mittels Antrieb vom Boden aus geschaltet werden kann. Zum Schutz des Umspanners gegen Überlast dienen Hochspannungssicherungen, die von einer Plattform aus erreichbar sind. In derselben Höhe ist der Umspanner derart aufgestellt, daß für den bequemen Austausch über dem Umspanner ein Flaschenzug zum Herunterlassen aufgehängt werden kann. Die Schaltgeräte für die abgehenden Niederspannungs-Freileitungen sind in einem wasserdichten Kasten untergebracht.

Zum Schluß werden noch zwei Ausführungsbeispiele von gemauerten Stationen in Bild 148 und 149 gezeigt, aus denen zu ersehen ist, daß der Architekt diese Bauten der Landschaft anpassen kann.

Hochspannungs-Schaltwagen.

Der AEG-Schaltwagen ist ein Hochspannungs-Schaltgerät, das durch seine gedrängte Bauart und die bequeme Zugänglichkeit aller Teile im spannungslosen Zustand große Vorteile bietet.

Die Sammelschienen, Einfach- oder Doppelschienen, sind im feststehenden Teil, dagegen der Leistungsschalter, die Stromwandler, Relais und Meßgeräte, bei 6 kV auch die Spannungswandler, im ausfahrbaren Teil des Schaltgerüstes untergebracht. An die Stelle der Trennschalter einer offenen Schaltanlage treten die Trennkontakte der Schaltwagenanlage. Für die Verbindung der nach außen führenden Meß- und Steuerleitungen mit dem fahrbaren Teil sind besonders durchgebildete Niederspannungs-Reihen-Kontakte angeordnet. Eine mechanische Verriegelung verhindert das Ein und Ausfahren des Schaltwagens, solange der Leistungsschalter eingeschaltet ist. Diese Verriegelung ist auch bei geöffnetem Leistungsschalter wirk-

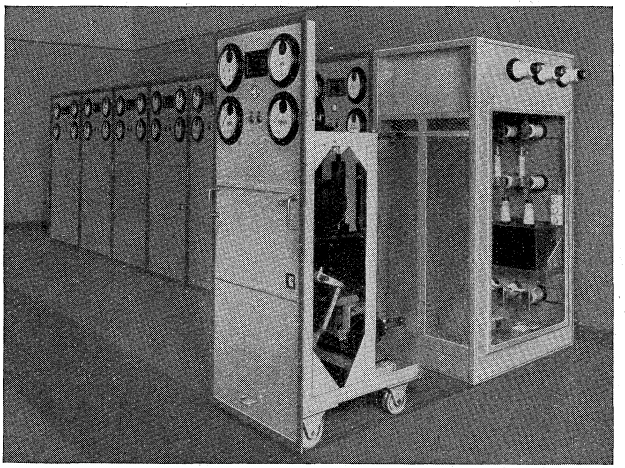


Bild 150. Schaltwagenanlage mit Druckgasschaltern.

sam und kann nur in diesem Schaltzustand von Hand aufgehoben werden. Eine Schutztür schließt und verriegelt sich beim Ausfahren des Schaltwagens selbsttätig, so daß die spannungführenden Teile in der ortsfesten Zelle der zufälligen Berührung entzogen sind. Beim Einfahren des Wagens entriegelt und öffnet sich die zweiflügelige Tür wieder selbsttätig.

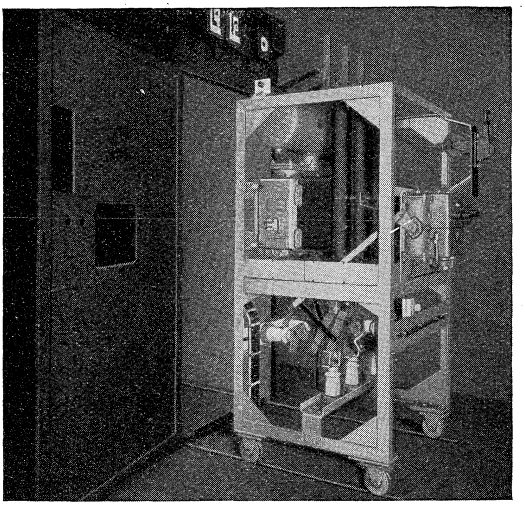


Bild 151. Schaltwagen mit Druckgasschalter.

Als Leistungsschalter können sowohl Ölschalter als auch Druckgasschalter eingebaut werden; letztere sind an eine gemeinsame Druckgaserzeugungsanlage von 10 atü Betriebsdruck angeschlossen. Der Anschluß der einzelnen Schaltwagen an die Druckluftsammelleitung erfolgt durch eine selbsttätige Druckgas-Leitungskupplung mit 2 Rückschlagventilen, so daß die Verbindung und Dichtung, sowie die Lösung nur durch die Ein- und Ausfahrbewegung des Schaltwagens bewirkt wird. Bei der Wahl eines Druckgasschalters werden in die Vorderwand des Schaltwagens, die in einem Gehäuse vereinigten Ein- und Ausschaltventile versenkt eingebaut. Die Ventile sind für elektrische Fernsteuerung eingerichtet. Der Leistungsschalter ist mit einer Auslösevorrichtung für Gleichstrom versehen; er kann aber auch mit Wandlerstrom- und Unterspannungsauslösern ausgeführt werden.

Bild 150 und 151 zeigen Schaltwagenanlagen mit Druckgasschaltern als Leistungsschalter.

Einen Einblick in eine Schaltwagenanlage mit eingebauten Rundkesselölschaltern gibt Bild 152, aus welchem auch die Sammelschienen zu erkennen sind.

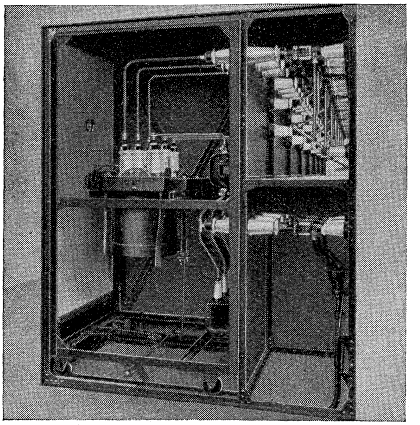


Bild 152. Schaltwagenanlage mit Rundkessel-Ölschaltern.

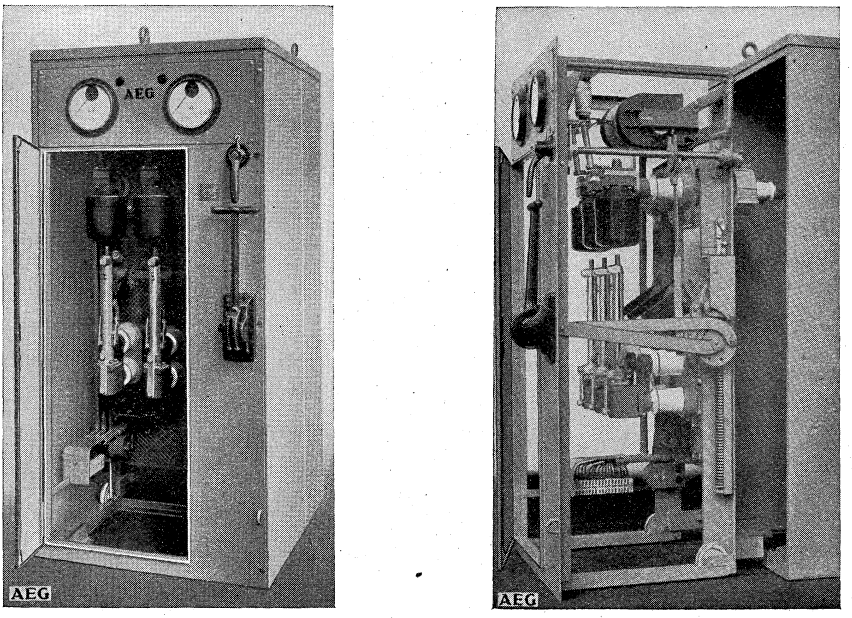
Schaltschränke für Hochspannung.

Schaltschränke oder Schaltkästen für Wechselspannungen über 500 V werden vorzugsweise dort verwendet, wo die Schalteinrichtung für Handbetätigung in unmittelbarer Nähe des Stromverbrauchers, beispielsweise für Hochspannungsmotoren, zur Aufstellung kommen sollen. Geringer Raumbedarf durch gedrängte, dabei betriebssichere Bauart, lassen die Schaltschränke für solche Verwendungs-

zwecke geeigneter erscheinen als offene Schaltanlagen. Dazu kommt noch, daß die gekapselte Ausführung der Geräte und Leitungen die Bedienungsmannschaft vor zufälliger Berührung spannungführender Teile bewahrt. Die Schalt- und Meßgeräte selbst sind dabei gegen Verschmutzung und Tropfwasser geschützt.

Da die hier verwendeten Geräte öl- und masselos sind, führen diese Schaltschränke den Namen **Trockenschaltschränke.** Sie haben Hartgas- oder Druckgasschalter als Schaltgeräte und Trockenstrom- und Spannungswandler als Zusatzgeräte für Meßzwecke. In Bild 153 ist ein Trockenschaltschrank mit eingebautem Hartgasschalter dargestellt. Die Tür kann nur nach dem Abschalten geöffnet werden. Mit Staub- und Feuchtigkeitsschutz versehen, können die Trockenschaltschränke auch untertags oder in Räumen aufgestellt werden, die für offene Anlagen ungeeignet sind.

Im ausgefahrenen Zustand sind sämtliche Schalt- und Meßgeräte bequem zugänglich. Die Schaltschränke werden bis 10 kV in einer Einheitsbauweise mit immer gleichem Gehäuse hergestellt, so daß sie zu Gruppen zusammengefaßt und die Anlagen jederzeit erweitert werden können. Abb. 154 zeigt den Schnitt eines Schaltfeldes mit Druckgasschalter Reihe 10, welcher bei 6 kV eine Ausschaltleistung von 150 MVA besitzt. Eine weitere Ausführung des Schrankes ist für Anschlußstellen mit geringem Nennstrom, aber hoher Kurzschlußleistung des Netzes vorgesehen (Bild 155). Hierbei übernehmen Hochleistungssicherungen für eine Ausschaltleistung von 400 bzw. 500 MVA die Stromunterbrechung im Kurzschlußfall, während der in Reihe damit liegende Hartgas-Leistungstrennschalter zum Schalten des Betriebsstromes und zur selbsttätigen Unterbrechung bei betriebsmäßig vorkommenden Überlastungen dient. Die Sicherungen sind mit Energiekennzeichen versehen, die beim Ansprechen den Leistungsschalter auslösen und damit eine allpolige Abschaltung bewirken.



a b

Bild 153. Trockenschaltschrank mit Hartgasschaltern. a Tür geöffnet, b Feld ausgefahren (Zwischenwände der Übersichtlichkeit wegen abgenommen).

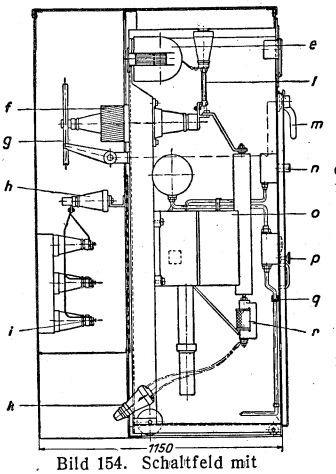


Bild 154. Schaltfeld mit Druckgasschalter.

e Spannungswandler,
f Durchführungsstromwandler,
g Trennschalter (am fahrbaren Teil),
h Trennschalterkontakt (feststehend),
i Sammelschiene,
k Kabelendverschluß,
l Sicherungen für Spannungswandler,
m Trennschalterantrieb,
n Betätigungsventil,
o Druckgasschalter,
p Vorschaltarmatur,
q lösbare Kupplung,
r Überstromauslöser.

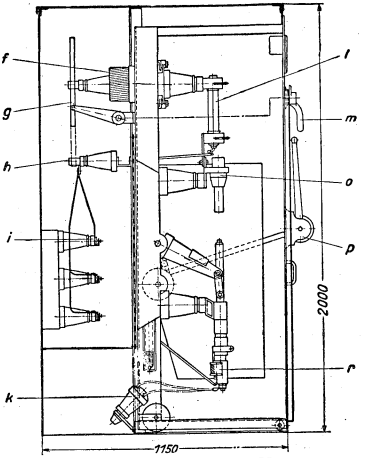


Bild 155. Schaltfeld mit Hartgas-Leistungstrennschalter und Hochleistungssicherungen.

l Hochleistungssicherungen,
o Hartgas-Leistungstrennschalter,
p Schalterantrieb,
übrige Buchstabenerklärung s. Abb. 154

Außer diesen Trockenschaltschränken sind Ölschaltkästen in Verwendung. Diese Schaltkästen sind ebenfalls zur Aufstellung in staubigen, feuchten und rauhen Betrieben geeignet. Die Schaltkästen entsprechen der Reihe 3 bzw. 6 der Vorschriften des VDE und sind in ihrer normalen Ausführung mit 2 Primärauslösern mit stromabhängiger Zeiteinstellung, Freiauslösung, Ölkesselsenkvorrichtung und drei einpoligen Trennschaltern ausgerüstet. Der sonst geschlossene Kasten hat 2 vordere Türen, wodurch alle Teile des Schaltkastens von vorn zugänglich sind. Nach Lösen der Leitungsanschlüsse und nach Entfernen der Befestigungsschrauben an der Frontplatte kann der ganze Ölschalter nach vorn herausgenommen oder durch einen Karren herausgefahren (Bild 156) und gegebenenfalls durch einen anderen ersetzt werden. Diese Schaltkästen können auch in schlagwettergeschützter Ausführung geliefert werden.

Eine weitere Form von Ölschaltkästen (Bild 157) zeichnet sich durch gedrängte, robuste Bauart aus, die den

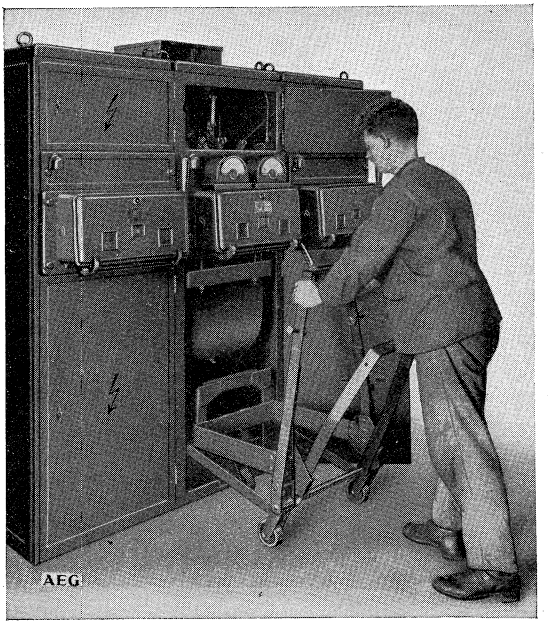


Bild 156. Ölschaltkästen Reihe 3 und 6 Form M.

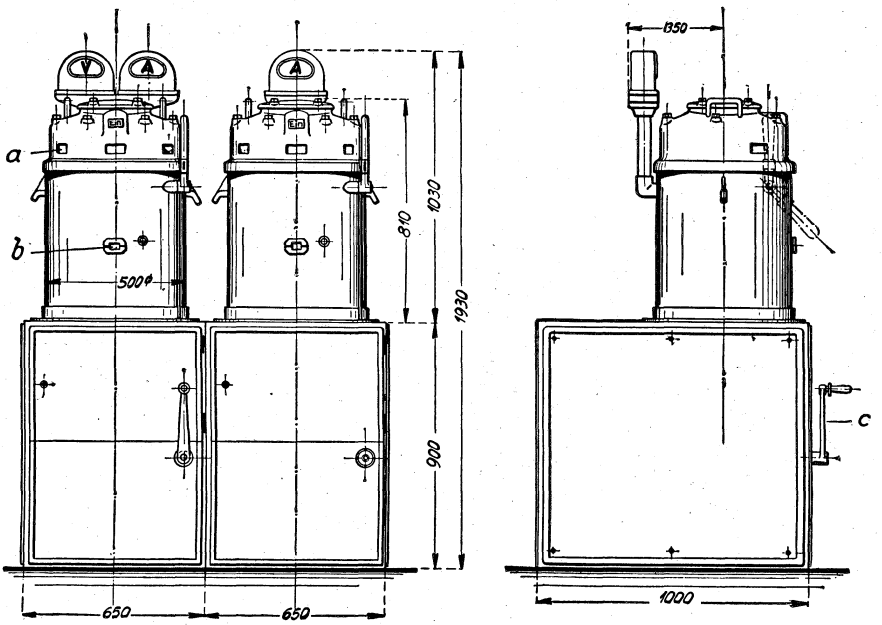


Bild 157. Ölschaltkästen Reihe 3 und 6 Form MU mit Untergestellen.

Schaltkasten gleichfalls für Bergbau- und Industriegebiete geeignet macht. Bei diesen Schaltkästen Form MU sitzt der gesamte Schaltmechanismus auf einer Tragplatte unter einer Haube. Der Anschluß erfolgt über Durchführungen im Boden. In dem Untergestell sind die Sammelschienen und die zugehörigen Trennschalter untergebracht.

Fahrbare Umspanner.

Zum Betriebe von Dreschmaschinen, Ent- und Bewässerungspumpen usw., also von Motoren, die je nach Bedarf ihren Aufstellungsort wechseln müssen, benutzt man zweckmäßig fahrbare Umspanner (Bild 158), die auch an entfernt gelegenen Stellen ohne nennenswerte Leitungsverluste einen Betrieb der Motoren mit Niederspannung ermöglichen.

Der Anschluß an die Hochspannungsleitung erfolgt unter Benutzung von Abzweigschaltern mit 3 Haken zum Einhängen der Anschlußleitungen, die an beiden Enden Metallringe haben. Mit Rücksicht auf die besonderen Maßnahmen, die bei der Inbetriebsetzung zur Vermeidung von Unfällen zu berücksichtigen sind, müssen Anleitungen hierzu jeweils eingeholt werden.

Die Hochspannungssicherungen im Wagen können entfallen, wenn solche in den zum Hakenanschluß am Mast führenden Abzweig gelegt werden. Sie können als Freileitungssicherungen in der Zuleitung oder auf dem Mastschalter selbst angeordnet werden. Das hat den Vorteil, daß bei Schlüssen, die zwischen den beweglichen Zu-

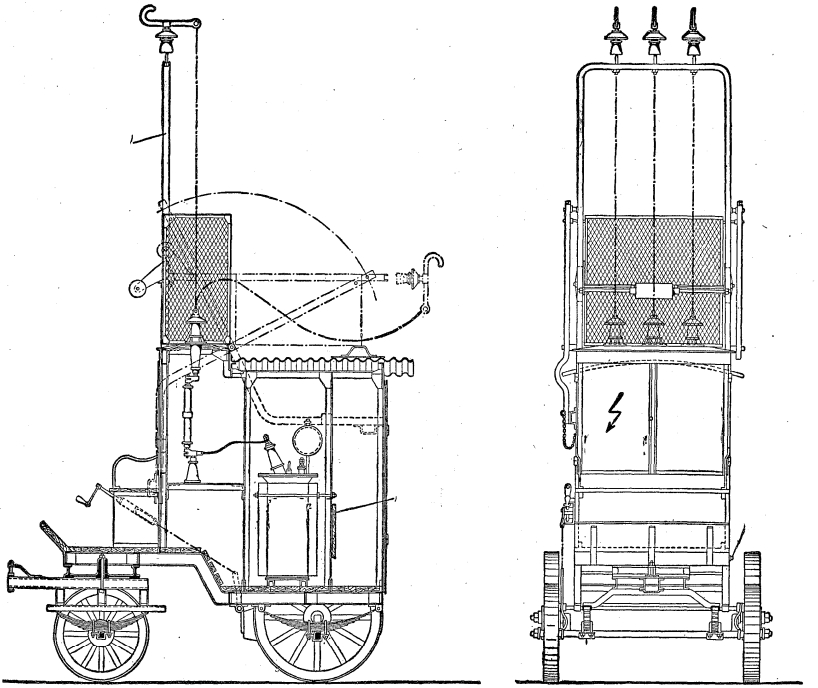


Bild 158. Fahrbarer Umspanner.

leitungen oder den Dachdurchführungen auftreten, ebenso bei an diesen Stellen eintretenden Erdschlüssen, diese Sicherungen zum Abschmelzen kommen. Die Schutzerdung des Wagens ist dann nur der Stromstärke der Sicherung entsprechend ohne Rücksicht auf den Leistungswert der Stromquelle zu bemessen.

Schalttafeln und Schaltwarten.

Schalttafeln für Niederspannung.

Schalttafeln für Niederspannung dienen zur Aufnahme von Schalt- und Meßgeräten für Stromerzeugungs-, Umformer- und Verteilanlagen. Bei der Anordnung dieser Geräte ist auf Einfachheit, Übersichtlichkeit, Zugänglichkeit und Betriebssicherheit Wert zu legen. Die Übersichtlichkeit wird erfüllt durch die gleichmäßige Unterteilung der Schalttafel in einzelne gleich große Felder. Dem Schaltplan entsprechend sind die Schalt- und Meßgeräte auf diese Felder aufzuteilen, und zwar so, daß alle zu einem Stromerzeuger oder Umformer gehörigen Geräte einschließlich der Regler auf einem Feld vereinigt werden. Auch die Abzweige sind möglichst in Gruppen auf besonderen Feldern zusammenzufassen. (Bild 159). Desgleichen wird man die Schalt- und Meßgeräte für die Ladung und Entladung von Akkumulatorenbatterien der Wartung entsprechend auf einem Feld aufteilen (siehe Schaltpläne Abschnitt Stromerzeugungsanlagen).

Als Werkstoff für die Schalttafelfelder kommen Marmor, Durometall oder gespanntes Eisenblech von etwa 2,5 mm Stärke zur Verwendung. Der in den Anfängen des Schalttafelbaues für Tafeln vielgebrauchte Schiefer ist wegen der häufig vorkommenden Einschlüsse von Metalladern für größere Tafeln nur noch selten in Verwendung.

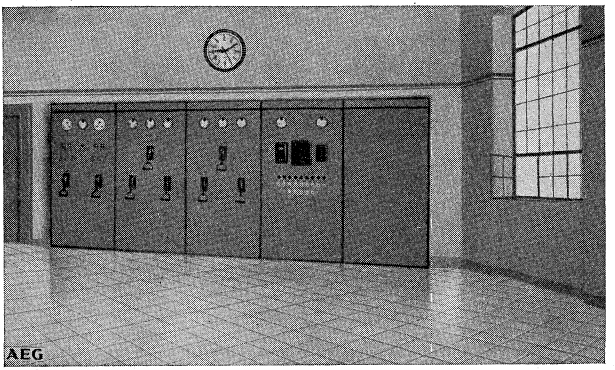


Bild 159. Niederspannungsschalttafel.

Die Vorderseite der Marmortafeln wird geschliffen und poliert, um sie gegen Verschmutzung und die Aufnahme von Feuchtigkeit unempfindlicher zu machen. Die rauh gelassene Rückseite der Tafel erhält aus dem gleichen Grund einen Emaillackanstrich. Blech- und Durometalltafeln werden mit einem graublauen Farbanstrich versehen, der matt gehalten ist, um Spiegelungen zu vermeiden. Die Rückseite der Durometallplatten wird ebenfalls mit weißem Emaillack gestrichen.

Für die Abmessungen der Schalttafelfelder lassen sich nur allgemeine Richtlinien geben. Gebräuchlich sind Felder von 700 bis 1200 mm Breite und 2000 bis 2400 mm Höhe. Die Abmessungen sind bedingt durch die Anzahl und Größe der unterzubringenden Geräte.

Für die Besetzung der Felder hat sich ganz allgemein folgende Regel eingeführt. Meßgeräte werden in eine Höhe von 1800 bis 2200 mm gesetzt. Darunter schließen sich die Antriebe von Hebel- bzw. Selbstschaltern oder die Handgriffe von Betätigungsschaltern usw. an. Die Handräder für Regler werden etwa 700—900 mm über dem Fußboden angebracht (Bild 160). Die Regler selbst ordnet man im rückwärtigen Schaltgerüst oder in einem Raum unterhalb der Schalttafel an. Für die Antriebe der Regler sind die in Bild 161 angegebenen Formen gebräuchlich. Die Regler werden so aufgestellt, daß ihre Kontaktbahn zugänglich ist. Beim unmittelbaren Antrieb sitzt das Handrad auf der durch den Widerstand gehenden Welle. Wird der Handradantrieb getrennt von dem Regler angebracht, dann erfolgt die Bewegungsübertragung mittels Kette. Bei größeren Kettentrieben verlängert man die unbedingt benötigten Kettenlängen durch Stahlseile oder Runddrähte von etwa 7 mm Durchmesser.

Das Eisengerüst zum Tragen der Schalttafeln besteht aus Winkeleisen, deren Ver-

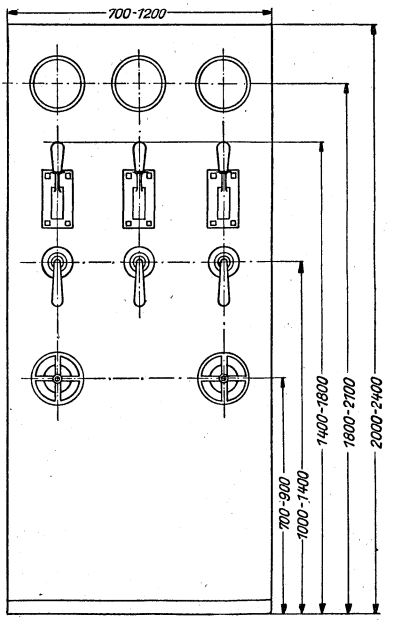
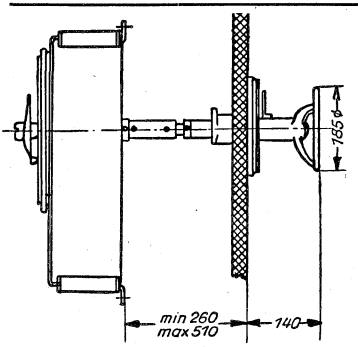
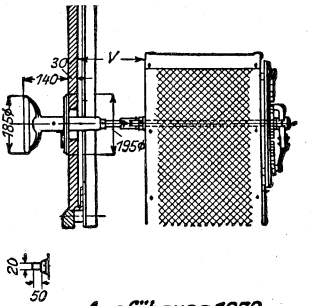


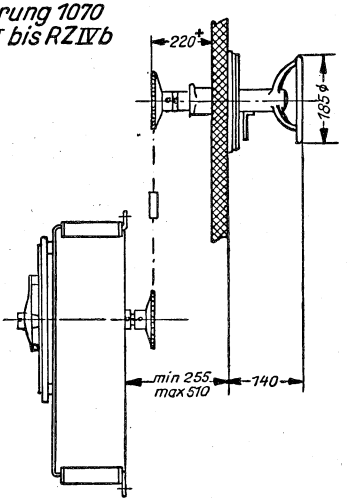
Bild 160. Anordnung von Meß- und Schaltgeräten auf der Schalttafel.



Ausführung 1070
für RZ III bis RZ IVb

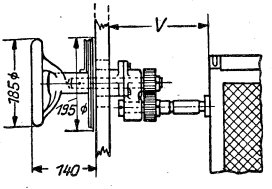


Ausführung 1070
für FS-Regler

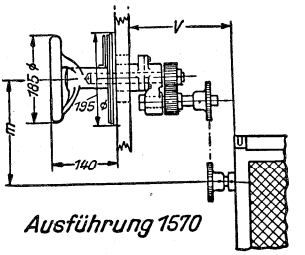


Ausführung 1470
für RZ III bis RZ IVb

Der gewünschte Achsenabstand der Kettenräder ist bei Bestellung anzugeben, sonst wird dieses Maß mit 750 mm angenommen; minimal darf der Achsenabstand 350 mm betragen. Das gleiche gilt für Maß „m" bei Ausführung 1570 (untere rechte Skizze)



Ausführung 1170



Ausführung 1570

Maß „v" ist normal 220 mm; wenn größer erforderlich, ist das Maß bei Bestellung anzugeben. Maß „m" vergleiche Text bei Ausführung 1470.
+Wenn das Maß größer ist, muß die Antriebswelle nochmals gelagert werden. Falls größere Entfernung gewünscht wird, ist dies bei Bestellung besonders anzugeben.

Bild 161. Antriebe für Regler.

bindung vielfach durch elektrisches Schweißen hergestellt wird; nur diejenigen Verbindungen, die für den Versand zu lösen sind, werden verschraubt. Bild 162 zeigt als Beispiel ein freistehendes Eisengerüst für Niederspannungstafeln mit Hebelschaltern für indirekten Antrieb, senkrecht angeordneten Sicherungen, Stromwandlern und Sammelschienen. Bei der Unterbringung der Schaltgeräte im Gerüst ist nicht nur auf die Zugänglichkeit der Geräte selbst, sondern auch auf die der Leitungsanschlüsse und Schraubverbindungen der Leitungschienen zu achten. Oberhalb der Schaltgeräte und Sicherungen muß genügend Abstand gegen geerdete Teile eingehalten werden, damit Lichtbogen, die beim Schalten bzw. beim Abschmelzen von Sicherungen auf-

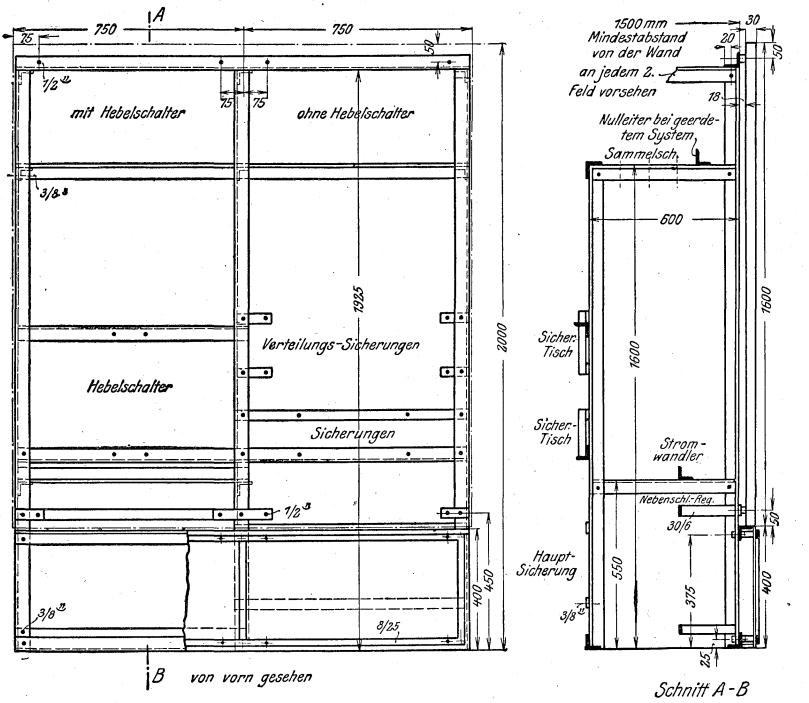


Bild 162. Eisengerüst für freistehende Niederspannungsschalttafeln.

treten können, keinen Kurzschluß einleiten. Bei gedrängten Raumverhältnissen hilft man sich durch den Einbau lichtbogensicherer Platten, z. B. Zementasbestplatten. Selbstschalter sollen möglichst in einer solchen Höhe angebracht werden, daß auftretendes Schaltfeuer oberhalb der Augenhöhe liegt.

Der hinter der Tafel erforderliche freie Bedienungsgang zwischen ungeschützten, Spannung führenden Teilen der Tafel und der Wand muß nach den Vorschriften des VDE mindestens 1 m breit sein. Rechnet man mit einer Gerüsttiefe von 600 mm und einem Bedienungsgang vor der Tafel von 1200 mm, so wird für die Aufstellung dieser Tafel eine Raumtiefe von 2800 mm beansprucht. Diese Raumtiefe steht nicht immer zur Verfügung. In Bild 163 wird deshalb die Lösung für eine Verteilschalttafel gezeigt, die mit einer geringeren Tiefe auskommt. Bei dieser Anordnung entfällt der rückwärtige Bedienungsgang; die Zugänglichkeit der eingebauten Geräte und Leitungen

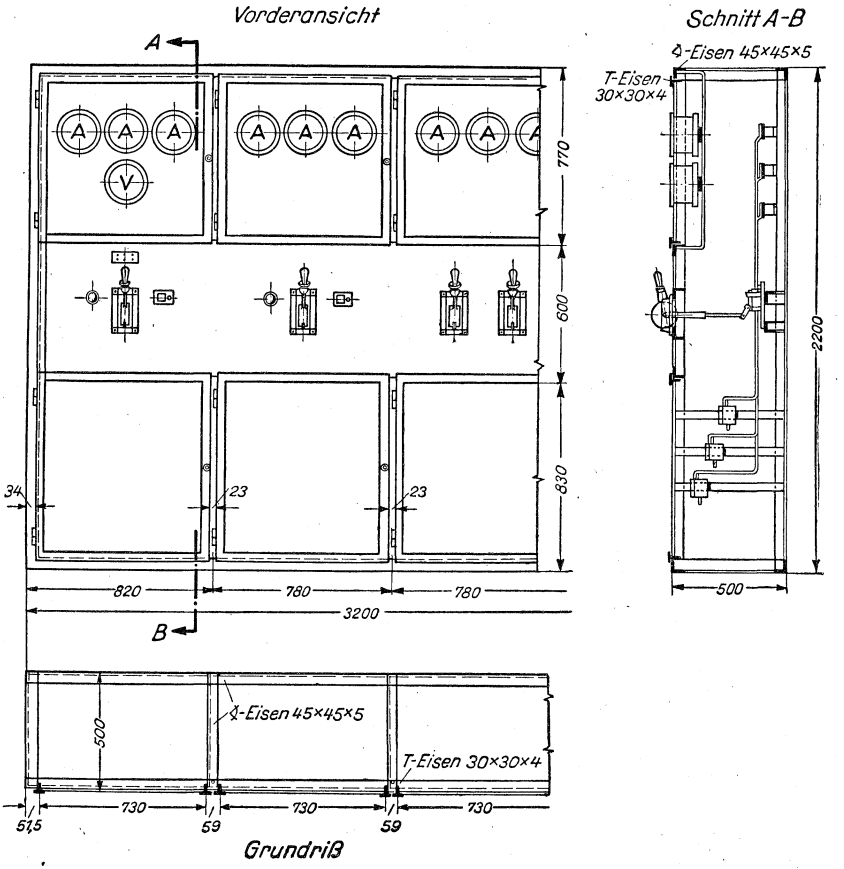
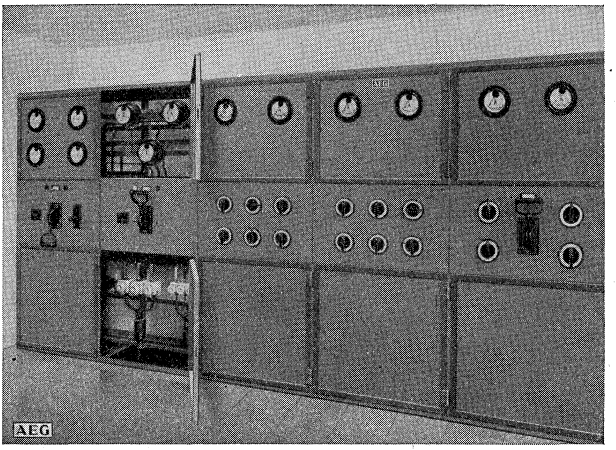


Bild 163. Schalttafel für Wandmontage, nur von vorne zugänglich.

wird durch Türen in der Schalttafelfront erreicht (Bild 164). Auf dem mittleren festen Teil der Tafel sind die Antriebe für die Schalter untergebracht.

Es kann aber auch vorkommen, daß für eine größere Niederspannungsverteilanlage die erforderliche Länge nicht vorhanden ist. In diesem Fall kann man ein doppelseitiges Schaltgerüst verwenden. Die Antriebe und Meßgeräte für die Schalter bzw. Selbstschalter von zwei hintereinanderliegenden Verteilfeldern werden hierbei auf einer Tafel untergebracht. Die Zugänglichkeit aller Teile dieser Schalttafel und damit die Betriebssicherheit hinsichtlich Anordnung der Geräte ist als vollkommen zu bezeichnen. Die Gestängeantriebe für die Schalter bzw. Selbstschalter können über dem Bedienungsgang in einem Kanal oder in einem Raum unter dem Fußboden geführt werden. Die Aufstellung von Gerüst und Tafel in zwei übereinanderliegenden Räumen bietet die gleichen Vorteile wie die Aufstellung derselben hintereinander.

Erwähnt sei der Vollständigkeit wegen noch, daß die vorgenannten Niederspannungsschalttafeln auch mit Doppelsammelschienen ausgerüstet werden können. Das wird



dann der Fall sein müssen, wenn eine Verteilanlage von zwei Stromlieferern gespeist wird, die nicht synchron fahren dürfen. In diesem Fall können die abgehenden Stromkreise mittels Umschalter an die Doppelschienen angeschlossen werden, womit eine Fehlschaltung vermieden wird.

Bild 164. Lichtbildaufnahme einer nach Bild 163 ausgeführten Schalttafel.

Die Schaltwarten.

Die dem Abschnitt „Schalttafeln" vorangestellten Forderungen „Einfachheit, Übersichtlichkeit und Betriebssicherheit" gelten in erhöhtem Maße für die Schaltwarte. Sie ist in größeren Kraft- und Umspannwerken oder Gleichrichteranlagen diejenige Stelle, an welcher die Meßgeräte der ganzen Anlage und die Betätigungs- und Meldegeräte aller ferngesteuerten Schalter vereinigt sind.

Mit der Entwicklung der Schaltwarten in Deutschland ist der Name des Altmeisters des Schaltanlagenbaues, H. Probst, eng verbunden. Die ersten Warten, die um das Jahr 1910 in Deutschland unter seinem maßgebenden Einfluß entstanden, können in den Grundzügen noch heute als Vorbilder für den Aufbau von Warten angesehen werden. Probst strebte besonders die Erhöhung der Übersicht in Schaltwarten an. Wie das erreicht wird, soll in Bild 165 veranschaulicht werden.

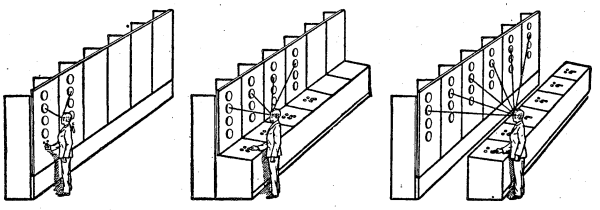


Bild 165. Vergrößerung des Blickfeldes durch Verwendung von Schaltpulten.

Schaltpult und Schalttafel sind die Elemente für den Aufbau der Warten.

Das Schaltpult ist bei den Maschinenfeldern als eine Ergänzung der Schalttafelfläche anzusehen. Auf der Schalttafel werden alle Meßgeräte angeordnet, während die Betätigungs- und Signaleinrichtungen getrennt auf einem Schaltpult ihren Platz finden, das vor der Schalttafel in einem Abstand von etwa 1 m zur Aufstellung gelangt. Der Gesichtskreis der Schalttafelwärter wird dadurch, wie aus Bild 165 hervorgeht, bedeutend erweitert.

Die Drehstrom-Meßgeräte jedes Stromerzeugers werden auf der Schalttafel senkrecht untereinander derart angeordnet, daß die gleichartigen Geräte aller Maschinen, z. B. Spannungsmesser, Leistungsmesser, Blindleistungsmesser, in waagerechten Reihen nebeneinander erscheinen und ein übersichtliches Bild zum Vergleich der Skalenwerte ergeben. Diese Geräte haben runde Form mit weithin sichtbaren Teilungen. Alle

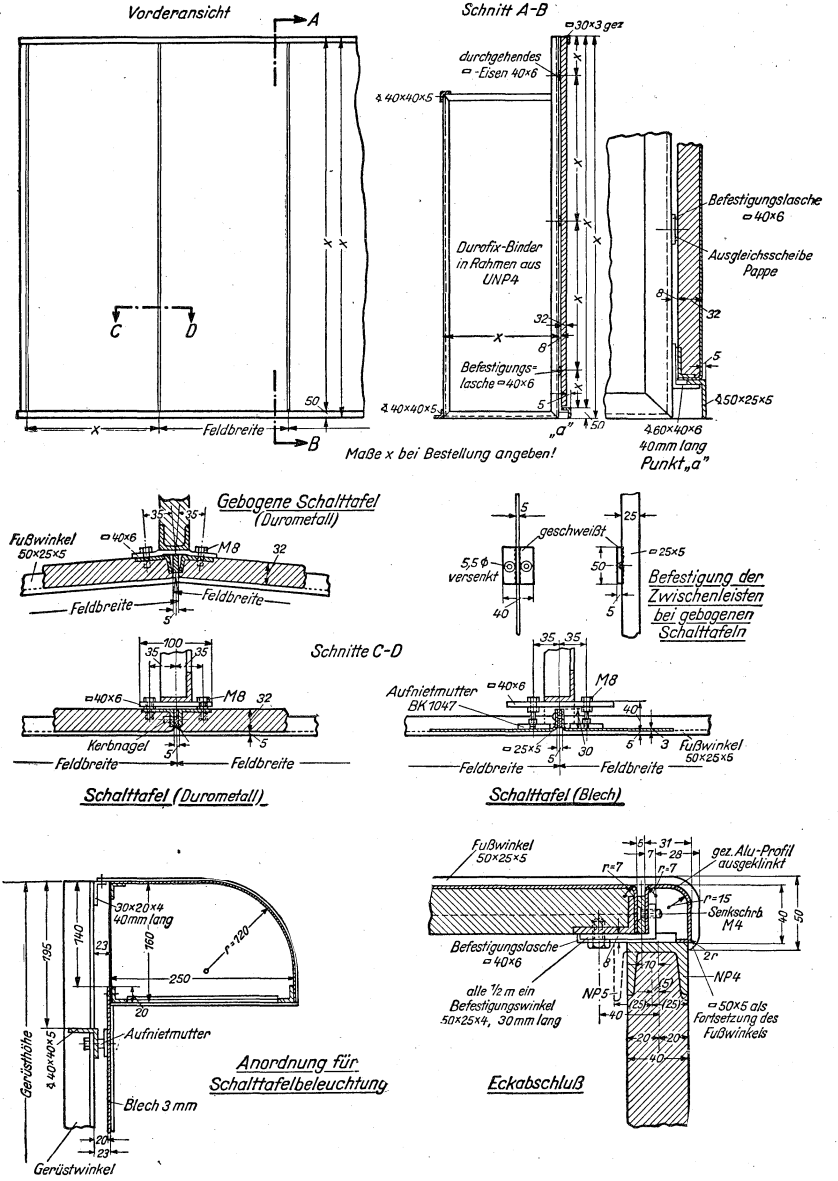
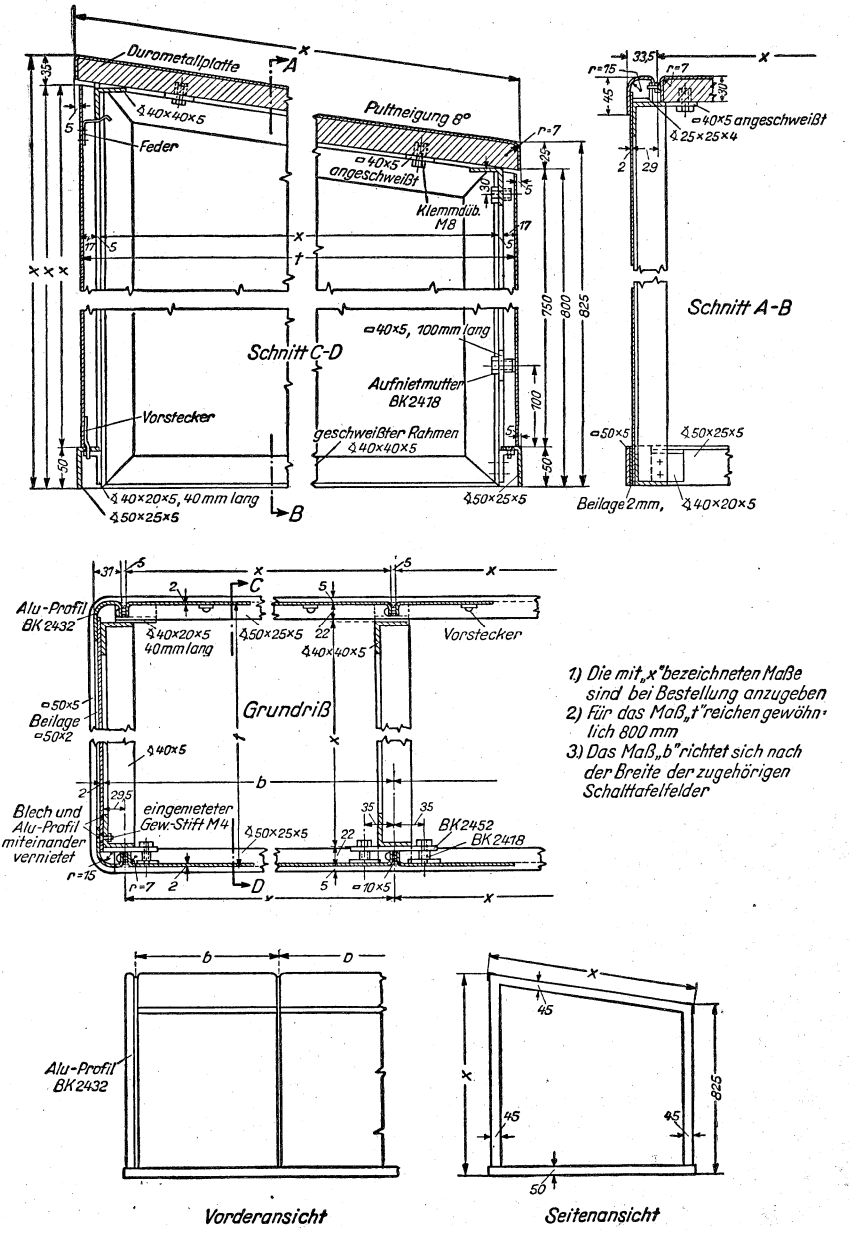


Bild 166. Normaler Aufbau von Schalttafeln für Warten.



1) Die mit „x" bezeichneten Maße sind bei Bestellung anzugeben
2) Für das Maß „t" reichen gewöhnlich 800 mm
3) Das Maß „b" richtet sich nach der Breite der zugehörigen Schalttafelfelder

Bild 167. Normaler Aufbau von Schaltpulten für Warten.

anderen Meßgeräte erhalten einen kleineren Durchmesser oder zum Hervorheben eine andere Form, z. B. werden Ds-Strommesser gerne in rechteckiger Form (Profilform) verwendet, weil sie sich gut in das Blindschaltbild einfügen und bei 3 Geräten den Skalenvergleich erleichtern.

Meßgeräte für die Erregermaschine wählt man vielfach in quadratischer Form, um sie als Gs-Meßgeräte zu kennzeichnen.

Das Schaltpult nimmt die Steuer- und Meldeeinrichtungen für die ferngeschalteten Trenn- und Leistungsschalter auf, die im Zuge eines Blindschaltbildes (siehe Seite 242) eingebaut sind. Ferner sind Geräte zur Befehlsübermittlung nach dem Maschinenhaus, Steckeinrichtungen oder Schalter für die Parallelschaltung, Antriebe für die Regler, Druckknöpfe für den Feldschwächungsselbstschalter, die Drehzahlverstellung usw. auf dem Schaltpult untergebracht.

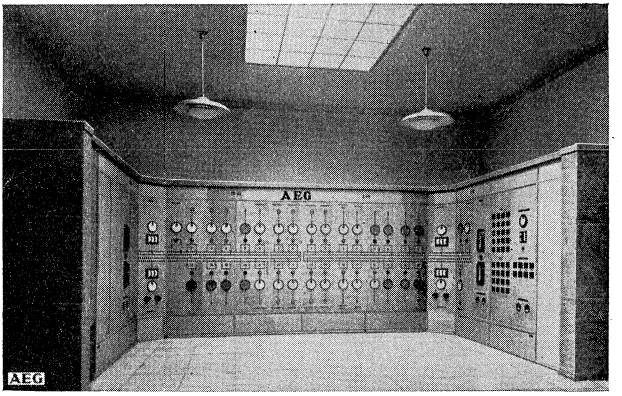


Bild 168. Warte in einem Umspannwerk.

Die Zeichnungen (Bild 166 und 167) geben Einzelheiten wieder vom Aufbau neuzeitlicher Schalttafeln und Schaltpulte. Als Werkstoff kommen Durometall und Stahlblech von 2,5 bzw. 3 mm Stärke zur Verwendung.

Die Breite der Maschinenfelder richtet sich nach Anzahl und Größe der Meßgeräte; sie beträgt im allgemeinen 800 bis 1000 mm.

Den Schaltfeldern für die abgehenden Stromkreise sind keine Schaltpulte zugeordnet. Auf jedem von diesen Feldern können mehrere Abzweige untergebracht werden. Bild 168 zeigt eine Warte in einem Umspannwerk; um an Platz zu sparen, sind hierbei die abgehenden Kabel im Blindschaltbild von den Sammelschienen aus nach oben und unten gehend angeordnet. Bild 169 und 170 zeigen Aufnahmen von größeren Warten.

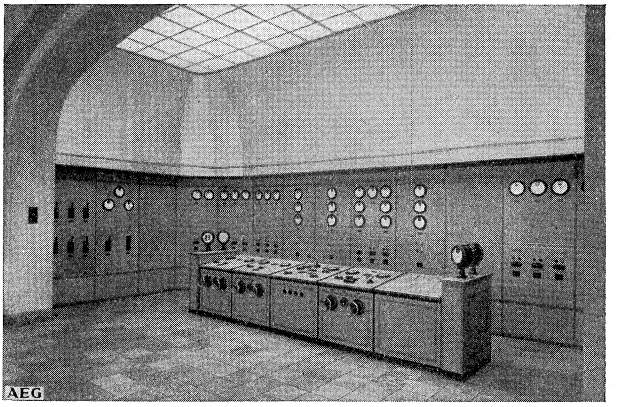


Bild 169. Schaltwarte in einem Industrie-Kraftwerk.

Schnellregler, schreibende Meßgeräte und Relais werden gewöhnlich auf Nebentafeln untergebracht, da sie nicht ständig beobachtet und gewartet werden müssen. Es gibt aber auch Fälle, wo der Aufbau schreibender Meßgeräte auf den Tafeln der Warte erwünscht ist.

Der Rückseite der Schaltfelder muß die gleiche Sorgfalt zugewendet werden wie der Vorderseite. Die Entwicklung der neuzeitlichen Schutzeinrichtungen und die immer mehr in Anwendung kommende Fernbetätigung der Schaltgeräte haben eine Vermehrung der Meß- und Betätigungsleitungen und deren Anhäufung in den Schaltfeldern zur Folge. Die AEG hat zuerst durch die Aufstellung besonderer Zwischenplatten zwischen den Feldern, die eine übersichtliche Leitungsführung ermöglichen, und durch die Beschaffung geeigneter Befestigungs- und Klemmenmaterialien Vorkehrung für eine betriebssichere Ausführung getroffen. Die Bilder 171 und 172 zeigen die Rückseiten von Schalttafeln in ausgeführten Warten.

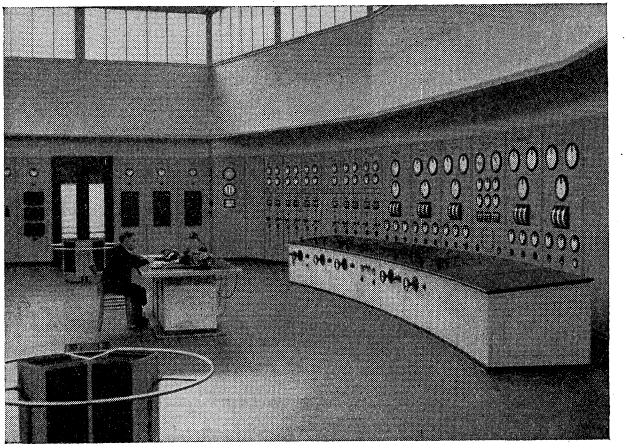
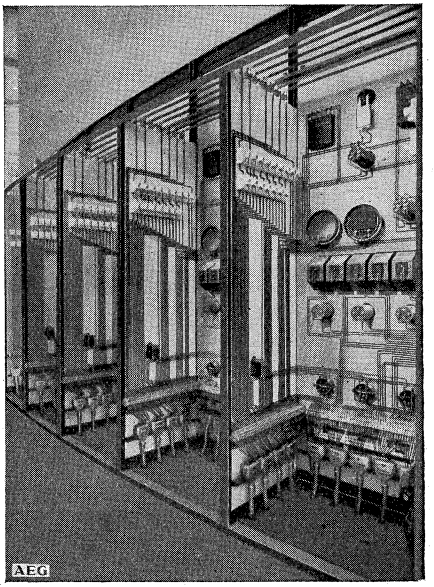


Bild 170. Schaltwarte eines Großkraftwerkes.

Der Grundriß und die räumlichen Abmessungen einer Schaltwarte sind abhängig von der Anzahl der Stromerzeuger, Umformer, Gleichrichter und Umspanner und der Zahl der Verte-



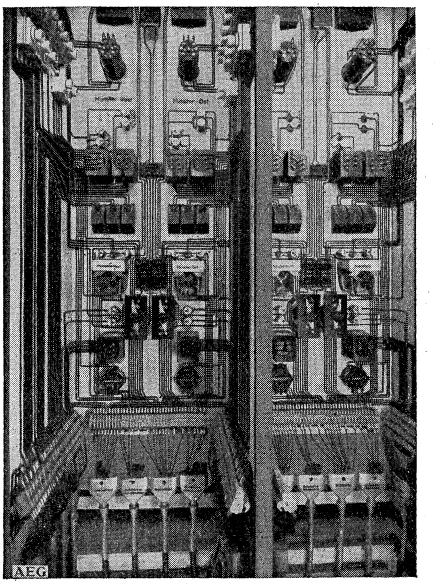


Bild 171. Rückansichten von Tafeln in Schaltwarten. Bild 172.

lungsstromkreise, die zentral überwacht werden sollen. Die Lage der Felder in der Warte soll möglichst mit der Lage der Felder in der Schaltanlage übereinstimmen, wodurch die Übersicht über die Gesamtanlage wesentlich erhöht wird.

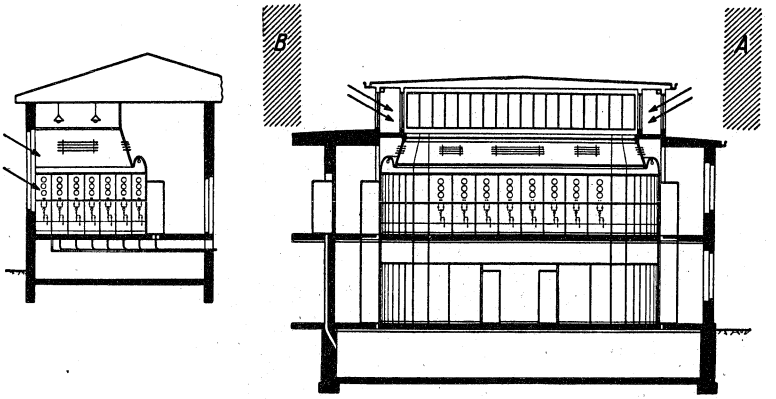


Bild 173. Natürliche und künstliche Beleuchtung von Warten.

Unterhalb der Warte ist ein begehbarer Kabelraum vorzusehen, in welchem die zahlreichen Meß- und Betätigungskabel geordnet und zum Schalthaus geführt werden.

Auf die gute Beleuchtung der Warte muß besonders großer Wert gelegt werden; sie muß blendungs- und schattenfrei sein. Die günstigste Tageslichtbeleuchtung des Wartenraumes erzielt man durch den Aufbau einer „Laterne". Die künstliche Beleuchtung wird in einer Hohlkehle untergebracht, deren Form und Lage die vorerwähnten Eigenschaften gewährleistet.

Bild 173 zeigt die Beleuchtung von Warten im Schnitt.

Bei der Planung der Kraftwerksbauten muß darauf geachtet werden, daß der Lichteinfall in die Wartenoberlichte durch benachbarte höher geführte Mauern nicht beeinträchtigt wird. In dem Bild ist der Lichteinfall durch Pfeile, die fraglichen Mauern sind durch Schraffierungen A und B angedeutet.

Bei Verdunkelungsmaßnahmen für Luftschutzzwecke können die Schalttafeln einen Leuchtfarbenanstrich erhalten. Dieser Anstrich hat bei Tageslicht denselben grauen Farbton, der normalerweise für Schalttafeln verwendet wird. Die Skalen der Instrumente werden mit einer stark leuchtenden Farbe, die einen geringen hellblauen Schimmer hat, gespritzt.

Die Erregung der Leuchtfarben muß durch Ultraviolett-Leuchten erfolgen.

Blind-, Leucht- und Bausteinschaltbild.

Diese Übersichtsschaltbilder für Warten stellen einphasige schematische Nachbildungen von Schaltanlagen oder elektrischen Netzen dar und geben ein Bild von dem jeweiligen Schaltzustand dieser Anlagen.

Die älteste Form dieser Art von Schaltbildern, das sogenannte Blindschaltbild, wurde von der AEG bereits im Jahre 1908 ausgeführt. Es besteht aus genormten Sinnbildern für Generatoren, Umspanner usw. und Metall- oder Kunststoffleisten, deren Abmessungen für die Darstellung auf Schalttafeln für Sammelschienen einheitlich mit 12×3 mm und für Abzweigstromkreise mit 9×3 mm festgelegt wurden. Neben

den farbigen Lampen zur Kennzeichnung der Schaltstellungen von Trenn- und Leistungsschaltern werden elektromagnetische Rückmelder oder Steuerquittungsschalter verwendet (Bild 174).

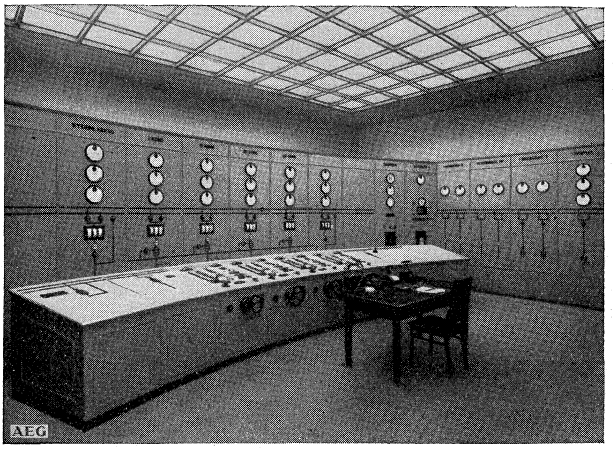


Bild 174. Blindschaltbild auf Pult und Tafel.

Leuchtschaltbilder (Bild 175) werden für die Nachbildung ganzer Netze bevorzugt. Sie haben den Vorteil, die unter Spannung stehenden Netzteile durch das Aufleuchten der entsprechenden Leitungsnachbildungen zu kennzeichnen.

Als Träger für das Schalt- oder Netzbild wird eine durchsichtige Platte benutzt, deren Durchsichtigkeit nur an den Stellen erhalten bleibt, die dem Leitungszug entsprechen. Alle übrigen Flächenteile werden durch entsprechende Behandlung abgedeckt. Die Leitungszüge, Sinnbilder und dergleichen werden durch verschiedene Farben hervorgehoben. Hinter den Leitungsnachbildungen sind auf Rosten abgeschirmte Lampen angebracht, die in Abhängigkeit von den Schalterstellungen des betreffenden Leitungszuges über Signalkontakte oder Schütze geschaltet werden. Letztere kommen vor allem dann in Frage, wenn die zu überwachenden Glieder des Netzes vom Leuchtschaltbild weiter entfernt liegen. Die Schütze werden in diesem Falle über Fernsteueranlagen betätigt. Die Bildfläche ist aus einzelnen auswechselbaren Teilen zusammengesetzt, damit Abänderungen im Schaltbild, die sich durch Änderungen und Erweiterungen des Netzes ergeben, leichter durchgeführt werden können.

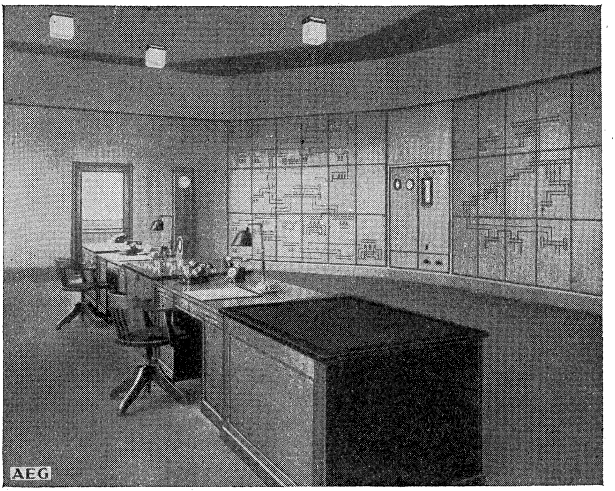


Bild 175. Leuchtschaltbild in einer Lastverteilerstelle.

Das **Bausteinschaltbild**[1]) hat zum Unterschied von den eben erwähnten Einrichtungen keine selbsttätigen Anzeige-

[1]) Nach Vorschlägen von W. Klöckener, Bayernwerk.

vorrichtungen für die Zustandsänderung des Schalt- oder Netzbildes. Diese muß vielmehr rein mechanisch von Hand vorgenommen werden. Das Bausteinschaltbild (Bild 176) wird mosaikartig zusammengesetzt. Die Fläche des Schaltbildes ist in einzelne gleich große Quadrate von 1,5 cm Seitenlänge zerlegt, deren jedes beliebig austauschbar ist.

Die Bausteine (Bild 177) bestehen teils aus weißen Leersteinen zur Bildung des Grundes, teils tragen sie farbige Sinnbilder und Leisten zur Darstellung von Generatoren, Umspannern, Leitungen, Leistungs- und Trennschaltern usw. Die Steine für Leistungs- und Trennschalter sind mit einem drehbaren Griff versehen, um die Schalterstellungen dem Betriebszustand angleichen zu können. Der in einem Rost eingesteckte, aus Kunststoff bestehende Baustein wird auf der Rückseite des Rostes durch Blattfedern gehalten, damit die Steine bei senkrechter Anordnung des Schaltbildes nicht herausfallen können.

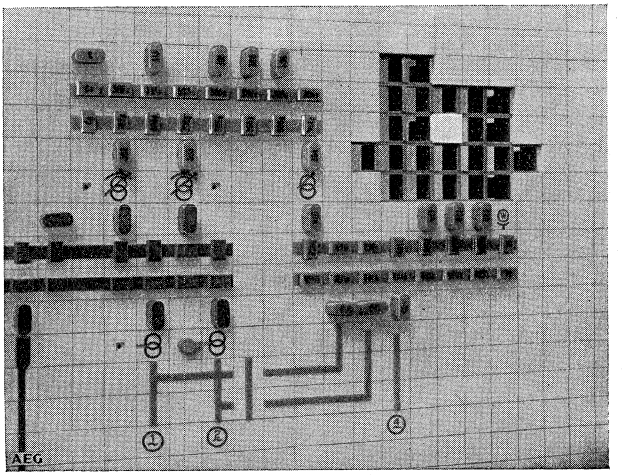


Bild 176. Baustein-Schaltbild, Teilansicht.
(Um den Aufbau zu zeigen, ist der Rost z. T. unbesetzt.)

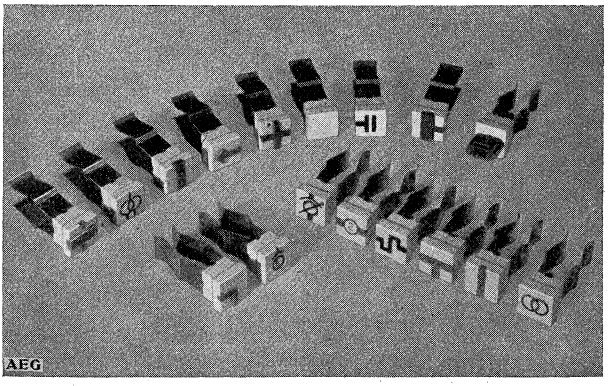


Bild 177.
Einzelbausteine zum Bausteinschaltbild.

Bandschaltbild.

Bandschaltbilder kommen für industrielle Betriebe immer häufiger in Anwendung. Sie ermöglichen das Steuern von Anlagen mit vielen, in der Arbeitsfertigung oder im Förderweg zusammenarbeitenden und abhängigen Einzelantrieben von einer Schaltstelle aus. Sie geben gleichzeitig übersichtlich ein Bild des Betriebszustandes der Anlage. Die Voraussetzungen für solche Anlagen sind gegeben in Brikettfabriken, Erzaufbereitungsanlagen, in der chemischen Industrie, in Getreidespeichern, Kohlenwäschen, Mühlen, Zement- und Zuckerfabriken usw.

Im Bandschaltbild sind für die einzelnen Antriebe Symbole vorgesehen, deren Anordnung dem Aufbau der Anlage entspricht (Bild 178). In die Symbole sind die zugehörigen Druckknöpfe für „Ein“ und „Aus“, Meldelampen, Verriegelungskontakte usw. eingebaut.

Für die Herstellung der Abhängigkeitsschaltungen zwischen den einzelnen Antrieben, die für jeden Arbeitsweg verschieden sind, werden Steckkontakte benutzt. Das Betätigungselement hierfür ist an einem ausziehbaren Band befestigt (Bandstecker). Jedes Band ist gespannt in einer Drehdose aufgewickelt, und zwar derart, daß jeder Stecker in die für die Durchführung der jeweiligen Abhängigkeitsschaltung vorgesehenen Steckerbuchsen eingeführt werden kann. Die Steckerbuchsen befinden sich von der Drehdose in verschiedenen Entfernungen und Winkeln, so wie es die Anordnung der Symbole bedingt. In der Drehdose ist eine Lampe eingebaut, die bei einem gesteckten Weg dann aufleuchtet, wenn im Arbeitsweg liegende Klappen, Schieber, Drehrohre usw. auch tatsächlich diesem Weg entsprechend gestellt sind. Nach dem Stecken können mittels der Druckknöpfe die freigegebenen Antriebe in ihrer dem Arbeitsweg entsprechenden Reihenfolge eingeschaltet werden, wenn durch das Aufleuchten der Bandlampen gemeldet wurde, daß alle Voraussetzungen für den richtigen Ablauf des gewünschten Arbeitsganges erfüllt sind.

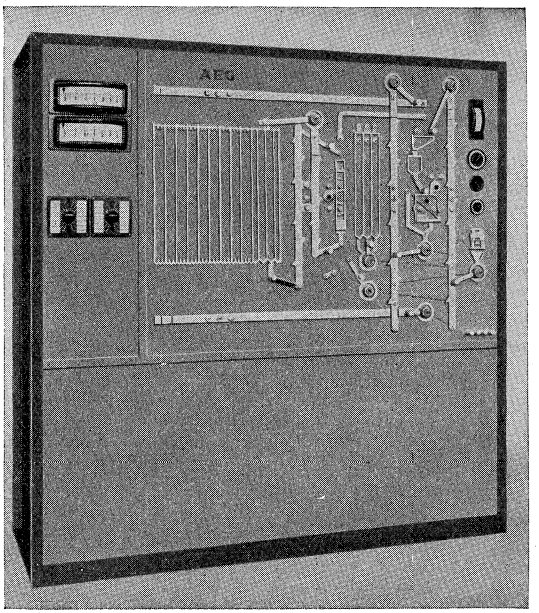


Bild 178. Bandschaltbild für einen Getreidespeicher.

Das Bandschaltbild arbeitet auch bei Überstromauslösung selbsttätig. Tritt z. B. infolge Heißlaufens eines Lagers eine Überlastung des zugehörigen Motors ein, so werden außer dem gestörten Antrieb auch alle vorgeordneten stillgesetzt, während die nachgeordneten Motoren im Betrieb bleiben, das ist wichtig, um Stauungen z. B. in der Förderung zu vermeiden. Gleichzeitig erlöschen im Schaltbild die Meldelampen der ausgeschalteten Antriebe und zeigen durch diese Zustandsveränderung die Betriebsstörung an. — Die Entriegelung erfolgt in der Weise, daß durch einen Entriegelungsschalter die Nullspannungsspulen der Motorschutzschalter unmittelbar an Spannung gelegt werden. Die irrtümlich gleichzeitige Betätigung der Ver- und Entriegelungsschalter eines Antriebes wird beim Bandschaltbild dadurch vermieden, daß zur Betätigung des Ver- und Entriegelungsschalters derselbe Stecker benutzt wird. Die Entriegelungsbuchse ist besonders gekennzeichnet.

Bei kleinen Leistungen werden die von den Druckknöpfen bedienten Fernschalter, Schütze usw. zweckmäßig unmittelbar hinter der Steuertafel eingebaut.

Verteilungen für Industrie, Gewerbe, Stadtnetze und Lichtanlagen.

Industriesteuerungen.

Die Zahl und die Mannigfaltigkeit der Arbeitsbedingungen, die von Industrieantrieben erfüllt werden müssen, stellen auch außerordentliche Anforderungen an die elektrische Ausrüstung der einfachsten Bohrmaschine wie an den größten Mehrmotorenantrieb einer Papiermaschine oder eines Baggers. Nicht nur die Güte und die Zuverlässigkeit der elektrischen Motoren, sondern auch die Betriebssicherheit und Zweckmäßigkeit der elektrischen Steuerungen sind für die einwandfreie Arbeitsweise des Industrieantriebes wichtig. Die Industriesteuerungen sind dazu berufen, einen wesentlichen Beitrag für die gesteigerten Ansprüche der Fertigung in bezug auf Güte, Genauigkeit und Arbeitsgeschwindigkeit zu leisten.

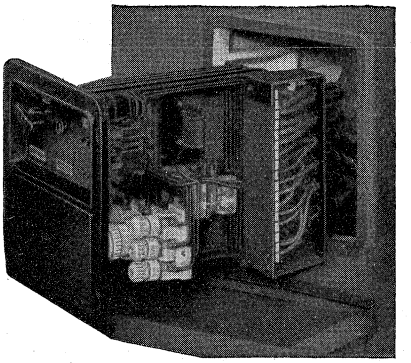


Bild 179. Einbausteuerung.

Die AEG hat durch besondere, für diesen Zweck entwickelte Steuer- und Schaltgeräte wie Netzschalter, Motorschutzschalter, Schütze, Auslöser, Spannungs-, Strom-, Zeitwächter, Sicherungen, Elfa-Automaten, Widerstände die Möglichkeit für den Bau einfacher und übersichtlicher Steuerungen geschaffen, die sich je nach Umfang und Anwendungszweck unterscheiden.

Steuerungen kleinsten Umfanges werden als **Einbausteuerungen** (Bild 179) in Hohlräumen von Ständern der Arbeitsmaschinen, insbesondere der Werkzeugmaschinen eingebaut, wobei die Öffnung der Hohlräume durch die Einbaufrontplatte abgedeckt wird. Die Betätigungsmittel (Druckknopf, Knebel, Griffe, Handrad usw.) befinden sich auf der Außenseite. Eingebaute Sicherungen können mit Leichtigkeit durch Abnehmen einer besonderen Abdeckplatte ausgewechselt werden. In einigen Fällen werden die Steuergeräte zu **Einsatzsteuerungen** (Bild 180) auf Grundrahmen mit Profilschienen und Halteklammern zusammengebaut. Diese Einsatzsteuerungen werden ebenfalls in Hohlräume des Ständers oder Bettes der Arbeitsmaschinen eingesetzt und durch eine Tür oder Frontplatte abgedeckt. Die Anordnung der Betätigungsmittel und Sicherungen ist ähnlich wie bei Einbausteuerungen.

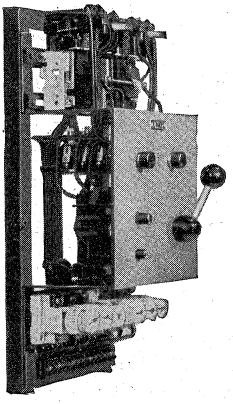


Bild 180. Einsatzsteuerung.

Die Einsatzsteuerungen können auch mit einem Gehäuse versehen werden und als **Anbausteuerungen** (Bild 181) an glatten Flächen der Maschine angebaut werden.

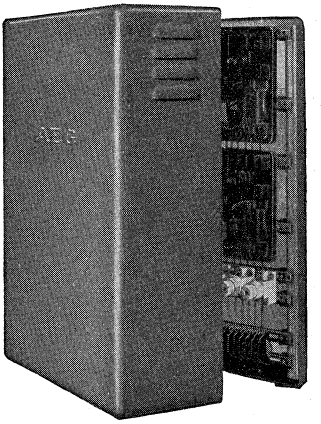


Bild 181. Anbausteuerung.

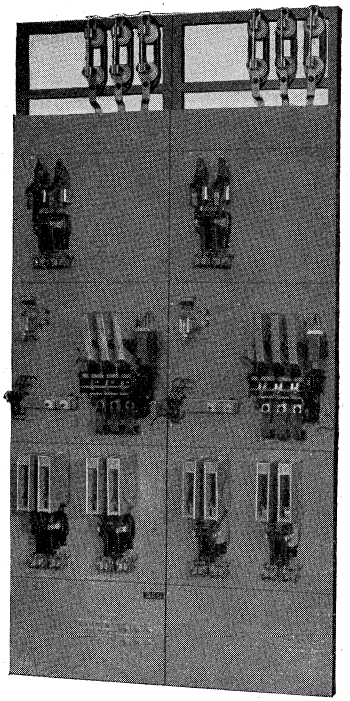


Bild 182a. Freistehende Steuerung. Vorderansicht.

Grundsätzlich unterscheiden sich hiervon die **Steuerungen auf Isolierstofftafeln,** die in all den Fällen verwendet werden, in denen die Steuerung infolge ihres Umfanges nicht mehr an- oder eingebaut werden kann, sondern getrennt von der Maschine angeordnet werden muß. Durch die Verwendung der Isolierstofftafeln ist es möglich, sowohl eine kräftige Tragkonstruktion für die aufgebauten Steuergeräte zu schaffen als auch einen gut isolierenden, betriebssicheren Untergrund für die elektrischen Leitungen zu erhalten. Während die Steuergeräte alle auf der Vorderseite der Isolierstofftafel angeordnet sind, werden alle Leitungen nach einem vorher ausgearbeiteten Verlegungsplan auf der Rückseite verlegt. Am unteren Rand der Tafel, gelegentlich auch am oberen Rand sind Klemmenreihen angebracht, an die die Leitungen verlegt werden. Hierdurch ist es möglich, die Steuerungen fertig geschaltet und mit den Motoren zusammen geprüft an den Aufstellungsort anzuliefern. An Ort und Stelle brauchen nur noch die Verbindungsleitungen zwischen den Klemmen der Tafel und den übrigen Teilen und Geräten der Anlage verlegt zu werden. Die genaue Bezeichnung der Klemmen vereinfacht diesen Anschluß.

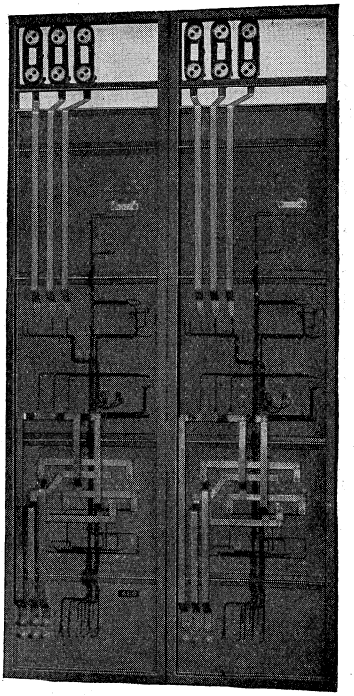


Bild 182b. Freistehende Steuerung. Rückansicht.

Nicht zu unterschätzen ist bei diesem Aufbau der Steuerungen die hierdurch erreichte Einsparung von Eisen.

Die Steuerung kann als **freistehende Steuerung** (Bild 182a und b) hinter Schutzgittern oder in besonderen elektrischen Betriebsräumen offen aufgestellt werden. Bei dieser Anordnung werden die Widerstände meist oberhalb der Steuerung auf den Eisengerüsten, die zur Befestigung der Isolierstoffplatten dienen, aufgebaut. Hierfür kommen Widerstandspakete zur Verwendung, weil sie eine gute Anpassung an die Raumverhältnisse erlauben und gute Zugänglichkeit ermöglichen.

Nehmen die Steuerungen keinen zu großen Umfang an, so können sie in **Steuerschränke** (Bild 183), deren Ausführung und Abmessungen genormt sind, eingebaut werden. Diese Steuerschränke kommen gewöhnlich unmittelbar neben den elektrischen Antrieben zur Aufstellung und finden insbesondere bei Werkzeugmaschinenantrieben Verwendung. Aufklappbare Türen auf der Vorderseite und abnehmbare Deckbleche

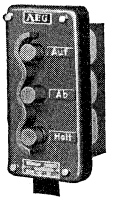


Bild 184 a. Druckknopf in Einbauform.



Bild 184 b. Druckknopf in Aufbauform.

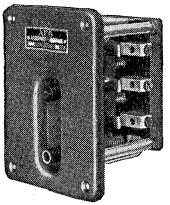


Bild 185. Druckknopfschalter.

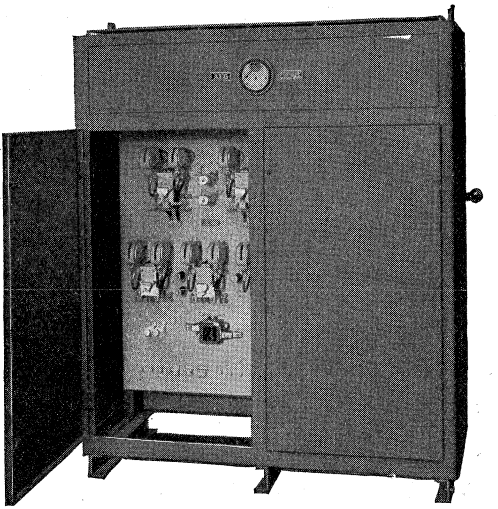


Bild 183. Steuerschrank.

auf der Rückseite erleichtern die Wartung und Beobachtung der Steuergeräte.

Die Betätigung der Industriesteuerungen erfolgt entweder durch Betätigungsschalter wie Druckknöpfe (Bild 184a und b), Druckknopfschalter (Bild 185), wobei für jeden Arbeitsvorgang ein besonderer Druckknopf erforderlich ist, oder durch Schwenkschalter (Bild 186a und b), Kugelschalter (Bild 187), U-Walzenschalter (Bild 188), in denen die Schaltvorgänge für verschiedene Arbeitsvorgänge wie „ein", „aus", „schneller", „langsamer", „Rechtslauf", „Linkslauf" oder andere vereinigt sind, oder durch Endschalter zum selbsttätigen Stillsetzen, zum Umschalten oder zur Verriegelung, um zu verhindern, daß zu unrechter Zeit der Antrieb eingeschaltet wird.

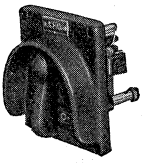


Bild 186 a. Schwenkschalter in Einbauform.



Bild 186 b. Schwenkschalter in Aufbauform.

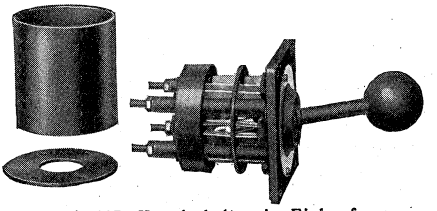


Bild 187. Kugelschalter in Einbauform.

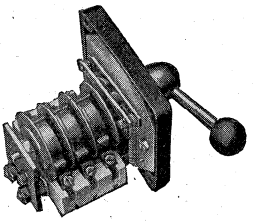


Bild 188. U-Walzenschalter in Einbauform.

Für Hebe-, Senk-, Fahr- oder Anstellvorgänge werden meist Steuerwalzen oder Meisterwalzen verwendet, die Schaltvorgänge in einer oder mehreren Stufen ermöglichen.

Bei Einbau- und teilweise auch bei Einsatz- und Anbausteuerungen und Steuerschränken befinden sich die Betätigungsschalter an der Steuerung selbst. In vielen Fällen, so besonders bei Werkzeugmaschinen mit getrennt angeordneten Steuerungen, werden sie an der Maschine an- oder eingebaut. Bei Baggern, Kranen,

Walzwerkshilfsantrieben usw. werden gewöhnlich sämtliche Steuerungsorgane auf Führerständen (Schaltpulten) oder in Führerhäusern zusammengefaßt. In allen Fällen soll der Bedienungsmann ungehindert von seinem Stand aus den Arbeitsvorgang bei der Bedienung beobachten können.

Schalteinrichtungen für elektrische Öfen.

Aus Bedienungsgründen kommen diese Schalteinrichtungen in unmittelbarer Nähe der elektrischen Öfen zur Aufstellung. Die Schalteinrichtungen für Öfen haben bei Hochspannung als Bauelemente Zellen bzw. Schaltkästen, zur Aufnahme der Meß- und Steuergeräte Schalttafeln und Schaltpulte.

Hochspannungsanschlüsse kommen für solche Anlagen in Betracht, wo größere Mengen elektrischer Energie in Wärme umgewandelt werden, dies sind Lichtbogenöfen und Induktionsöfen.

Neben den üblichen Schalt- und Meßgeräten sind bei **Lichtbogenöfen** auf Schalttafeln oder Pulten zusätzlich noch die Einrichtungen für die Elektrodenregelung unterzubringen. Die selbsttätige Regelung arbeitet entweder nach dem Leonard-Tirrill-Verfahren, oder nach dem elektrohydraulischen System (siehe Abschnitt „Elektrowärme").

Bild 189 zeigt den Bedienungsraum für einen Lichtbogenofen mit Schalttafel und Schaltpult. Vom Schaltraum aus kann man den Ofen gut übersehen, insbesondere die Beschickungstür und die Elektroden.

Die Hochspannungs-Schalteinrichtung für den Ofenumspanner kann, wenn der nötige Platz in oder bei der Ofenhalle nicht zur Verfügung steht, in der nächsten Hochspannungsverteilung untergebracht werden. Die Bedienungsschalteinrichtung wird auch in diesem Falle in Ofennähe aufgestellt; der Leistungsschalter muß hierbei Fernantrieb erhalten.

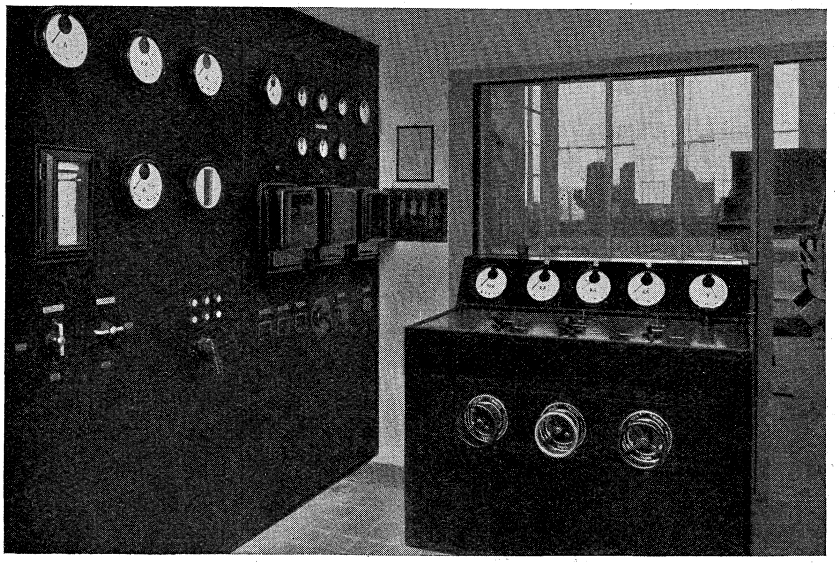


Bild 189. Bedienungsraum für einen Lichtbogenofen.

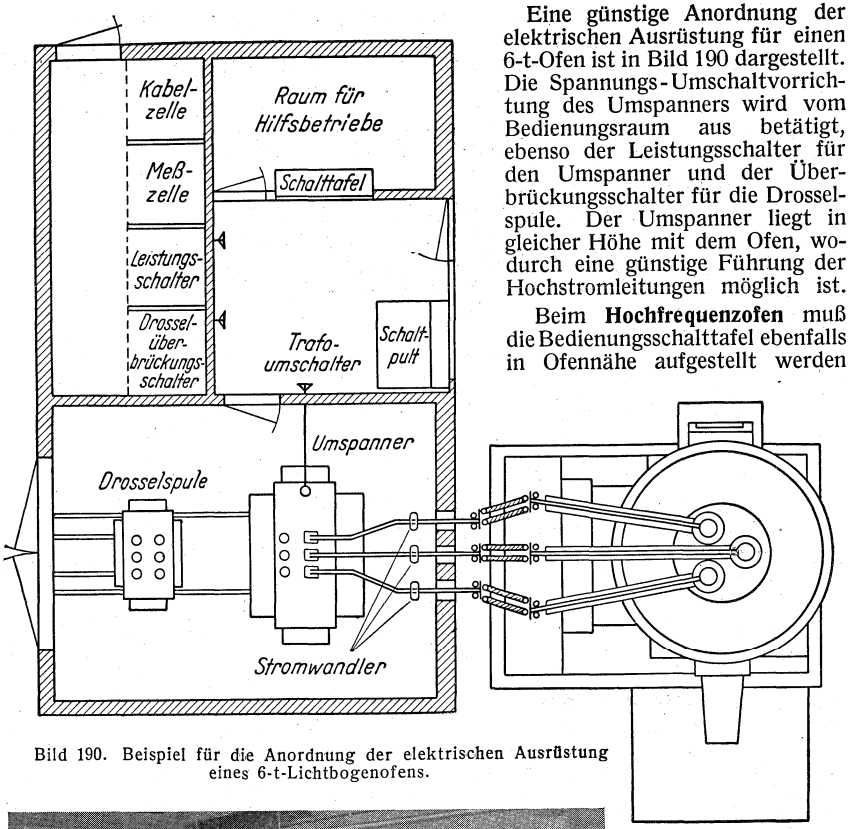


Bild 190. Beispiel für die Anordnung der elektrischen Ausrüstung eines 6-t-Lichtbogenofens.

Eine günstige Anordnung der elektrischen Ausrüstung für einen 6-t-Ofen ist in Bild 190 dargestellt. Die Spannungs-Umschaltvorrichtung des Umspanners wird vom Bedienungsraum aus betätigt, ebenso der Leistungsschalter für den Umspanner und der Überbrückungsschalter für die Drosselspule. Der Umspanner liegt in gleicher Höhe mit dem Ofen, wodurch eine günstige Führung der Hochstromleitungen möglich ist.

Beim **Hochfrequenzofen** muß die Bedienungsschalttafel ebenfalls in Ofennähe aufgestellt werden

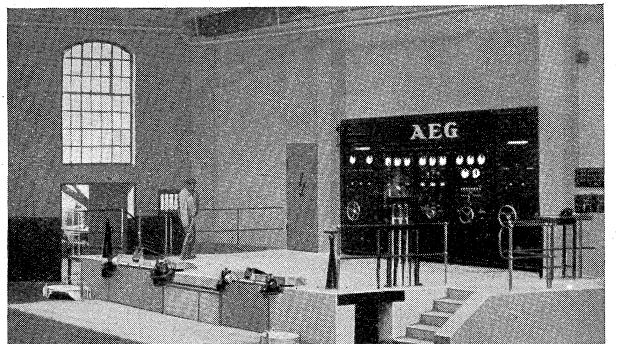


Bild 191. Hochfrequenzöfen mit Bedienungs-Schalttafel.

(Bild 191). Die wichtigsten Teile einer Hochfrequenzofenanlage sind: Umformer, Ofen, Kondensatorbatterie und Schaltanlage. Letztere enthält die Schaltgeräte für den Umformermotor, die Meß-und Schaltgeräte, sowie die Regler für den Hochfrequenzgenerator und Schaltgeräte für das stufenweise Zu- und Abschalten des regelbaren Teiles der Kondensatorbatterie. Der Umformermotor wird bei

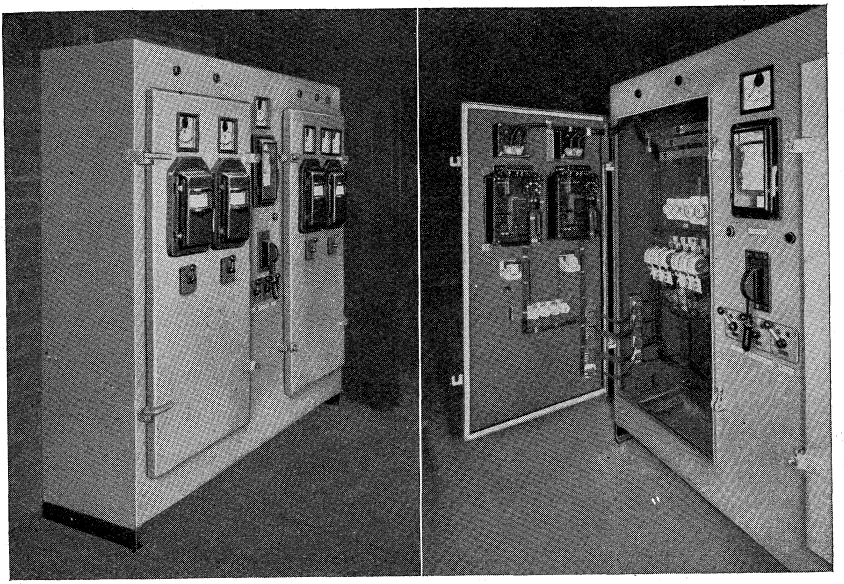


Bild 192. Raumsparende geschlossene Schalttafeln für Widerstandsöfen.

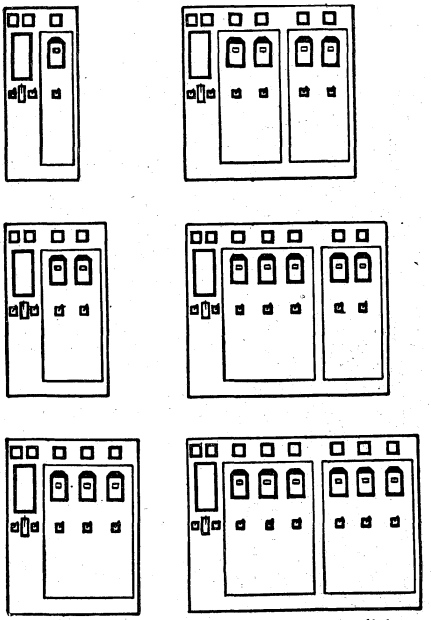


Bild 193. Zusammenstellung der grundsätzlichen Anordnungen mit Schalttafeln für Widerstandsöfen mit 1—6 Reglern.

Leistungen von 300 kVA und darüber zweckmäßig an ein vorhandenes Hochspannungsnetz angeschlossen. Die Geräte des Generators müssen für die jeweilige Frequenz geeignet sein, die bei Öfen mit einem Energieverbrauch von über 300 kW etwa 350—1000 Hz beträgt; es sind hierfür teilweise Sonderausführungen entwickelt worden. Besondere Vorsichtsmaßnahmen sind bei der Leitungsverlegung zu beachten. Wegen des Skineffektes sind die Leitungsquerschnitte möglichst zu unterteilen. Zur Verhütung schädlicher Erwärmung ist die Verlegung der HF-Schienen in der Nähe von Eisenteilen zu vermeiden. Aus dem gleichen Grunde sind die Schienenträger bei größeren Stromstärken aus nichtmagnetischem Werkstoff herzustellen.

Die Schaltanlage für **Widerstandsöfen** (Glüh- und Härteöfen) enthält außer den Temperaturreglern und den durch sie gesteuerten Schützen noch Meßgeräte für die dem Ofen zugeführte Leistung in Form von Spannungs-, Strom- und Leistungsmessern sowie Zähler. In sehr vielen Fällen werden die Temperaturen **nicht nur überwacht und gesteuert, son-**

dern auch aufgeschrieben. Ferner muß, da das Innere des Ofens einer Überwachung nicht zugänglich ist, jederzeit an der Schalttafel der Schaltungszustand der einzelnen Heizzonen zu erkennen sein. Es ist ferner erwünscht, über den Zustand der Heizleiter selbst einen Anhalt zu gewinnen; diesen gibt die Stromaufnahme. Es ist zweckmäßig, für jeden Heizstromkreis Strommesser vorzusehen. Man kann aber auf diese verzichten, wenn man in der Hauptzuleitung einen Strommesser vorsieht und von Zeit zu Zeit einen Heizkreis nach Ausschalten der übrigen durchmißt. Das Fehlen von Strommessern in den einzelnen Heizkreisen erfordert aber dann Signallampen, die im Betrieb den Schaltzustand anzeigen.

Die Geräte werden auf einer Schalttafel zusammengefaßt und entsprechend dem rauhen Betrieb in **Schaltkästen** aus starkem Stahlblech mit staubdichten Türen eingebaut, da nur eine solche Ausführung den mechanischen, thermischen und chemischen Angriffen des Betriebes widersteht. Die Notwendigkeit, die Schaltkästen in unmittelbarer Nähe des Ofens aufzustellen, zwingt zu einer möglichst raumsparenden Bauweise, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß in vielen Fällen das Innere der Schaltkästen nur von der Vorderseite aus zugänglich ist, weil sie mit ihrer Rückseite an Wänden stehen oder dem Ofen zugekehrt sind.

Diese Anforderungen führten zu einer Bauweise, bei denen die Regler und Betätigungsschalter auf den Türen angeordnet sind (Bild 192).

Eine Zusammenstellung von gebräuchlichen Schaltkästen mit 1 bis 6 Reglern zeigt Bild 193, die in Gruppen zu 2 und 3 zusammengefaßt und auf je einer Tür angebracht sind. Oberhalb des betreffenden Reglers befindet sich jeweils, und zwar seiner Heizzone entsprechend, ein Strommesser oder als Ersatz hierfür ein Signallampenpaar. Das auf der linken Seite angeordnete Hauptfeld enthält außer dem Hauptschalter, den Hauptbetätigungsschaltern und Strom- und Spannungsmessern Temperaturschreiber als Einfarben- und Mehrfarbenschreiber. Sind Antriebe vorhanden, so werden die hierfür erforderlichen Betätigungsschalter ebenfalls auf dem Hauptfeld oder bei großer Zahl auf einem besonderen Feld zusammengefaßt.

Kabelverteilungsschränke.

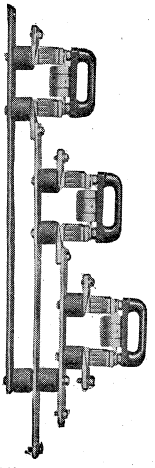


Bild 194. Stufenförmiger Aufbau der einpoligen Sicherungen für einen dreipolig abgesicherten Stromkreis.

Für die Aufteilung von Kabeln in Niederspannungsnetzen bis 500 V und die damit zusammenhängende Absicherung der verringerten Kabelquerschnitte kommen **Unterpflaster-Kabelkästen** oder oberirdisch angeordnete **Kabelverteilungsschränke** in Betracht. Letztere haben den Vorteil, daß sie einen verhältnismäßig größeren Anschlußraum zulassen. Die Zugänglichkeit und Übersicht wird erleichtert und damit eine schnellere Auswechselbarkeit von Sicherungen erreicht.

Unter Verwendung der im Abschnitt

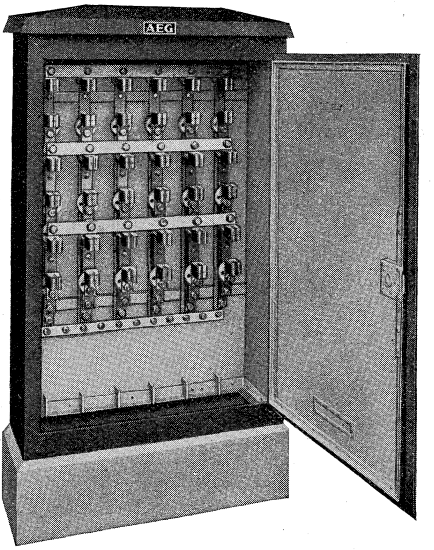


Bild 195. Kabelverteilungsschrank mit einpoligen Sicherungen, geöffnet.

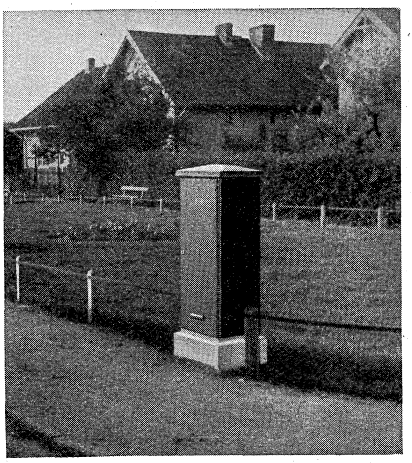


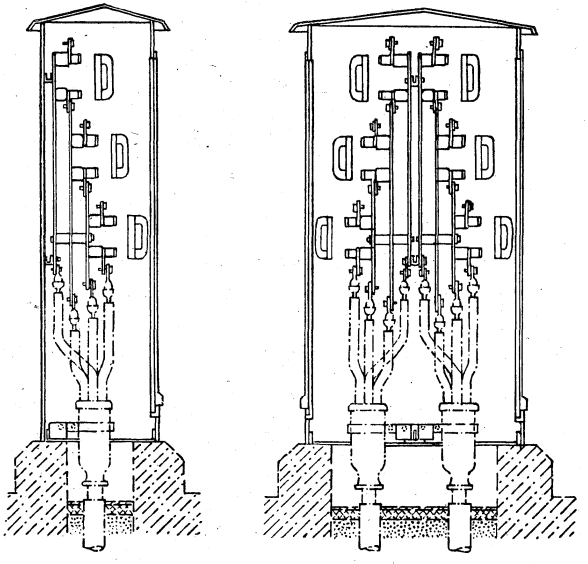
Bild 196. Kabelverteilungsschrank geschlossen.

„Schaltgeräte" beschriebenen Griffsicherungen wird ein stufenförmiger Aufbau der zu einer geschlossenen Reihe zusammengefaßten Sicherungen eines Abzweiges erzielt (Bild 194). Bei dreipolig abgesicherten Stromkreisen sitzen drei Phasen übereinander. Die Zu- oder Ableitungsschiene der obersten Sicherung ist Träger der mittleren und diese wieder der unteren Sicherung. Die oberen Anschlußklemmen der Sicherungen sind Stütz- und Anschlußpunkte für die Sammelschiene. Die Träger der oberen Sicherungen werden zur Verteilung des geerdeten oder isolierten Nulleiters benutzt.

Im Schrank können die Sicherungen ein- oder doppelseitig angeordnet werden, die erste Form ist zum Einbau in Mauernischen geeignet. Die Bilder 195 und 196 zeigen Aufnahmen von Kabelverteilungsschränken im geöffneten und geschlossenen Zustand.

Aus Bild 197 a und b ist der Aufbau der Kabelverteilkasten mit einpolig abschaltbaren Sicherungen, einseitig und doppelseitig angeordnet, zu ersehen.

Dreipolig abschaltbare Sicherungen, die ebenfalls im Abschnitt „Schaltgeräte"



a) mit einseitig angeordneten Sicherungen. b) mit doppelseitig angeordneten Sicherungen.

Bild 197. Schnitte durch Kabelverteilungsschränke mit einpolig abschaltbaren Sicherungen

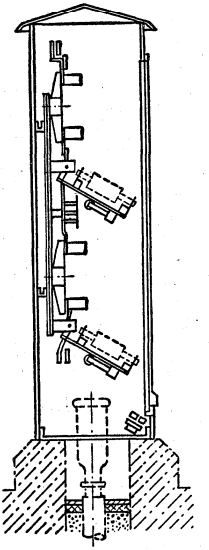


Bild 198. Schnitt durch Kabelverteilungsschrank mit dreipolig abschaltbaren Sicherungen.

beschrieben sind, eignen sich ebenfalls vorzüglich für den Aufbau von Kabelverteilungsschränken (Bild 198).

Die Schränke haben einen durch Dornschlüssel bedienbaren Basküleverschluß, außerdem kann ein Kastenschloß oder ein bei dem EW. eingeführtes Einheitsschloß verwendet werden. Für die Beleuchtung wird eine Steckdose für eine Handlampe, oder eine Lampenfassung mit Schalter und Sicherungen vorgesehen.

Gekapselte Schalt- und Verteilungsanlagen für Niederspannung.

Allgemeines.

Gekapselte Schaltanlagen finden für Spannungen bis 500 V in allen Industrie-, Hütten- und gewerblichen Betrieben dort Verwendung, wo es sich darum handelt, die Schaltgeräte gegen Feuchtigkeit, Verschmutzung und mechanische Beschädigung zu schützen. Zu der durch die Verkapselung der stromführenden Teile erreichten Betriebssicherheit gesellen sich weitere Vorzüge, nämlich der Schutz des Bedienenden gegen unbeabsichtigtes Berühren spannungführender Teile sowie die Anspruchslosigkeit in der Unterbringung der ganzen Anlage, die in jedem Betriebsraum an Wänden, Pfeilern usw. angeordnet werden kann. Eine Beschreibung der für solche Anlagen verwendeten Schaltgeräte findet sich im Abschnitt „Schalt- und Anschlußgeräte". Sie sind so ausgebildet, daß ein Zusammenbau, auch mit gekapselten Meßgeräten usw., ohne weiteres möglich ist und eine Erweiterung der Anlage ohne Schwierigkeiten durchgeführt werden kann. Durch Verwendung von Sammelschienenkästen, gekapselten Leistungs- und Trennschaltern, Licht- und Kraftverteilungskästen lassen sich auch größere Verteilungsanlagen in gekapselter Form ausführen. Für den Anschluß der Leitungen in Rohr, Feuchtraumleitungen und Kabel sind entsprechende Anschlußteile vorgesehen, so daß auch der Anschluß der ankommenden und abgehenden Zuleitungen einfach und übersichtlich durchgeführt werden kann.

Die gekapselten Schaltanlagen werden in folgenden Ausführungen je nach dem Verwendungszweck hergestellt.

Für schwere Betriebe.

Bauform N (gußgekapselt, normal) bis 2000 A je Abzweig (Bild 199).

Die seit Jahrzehnten bewährte Bauform. Größte Mannigfaltigkeit der Zusammenstellungsmöglichkeiten.

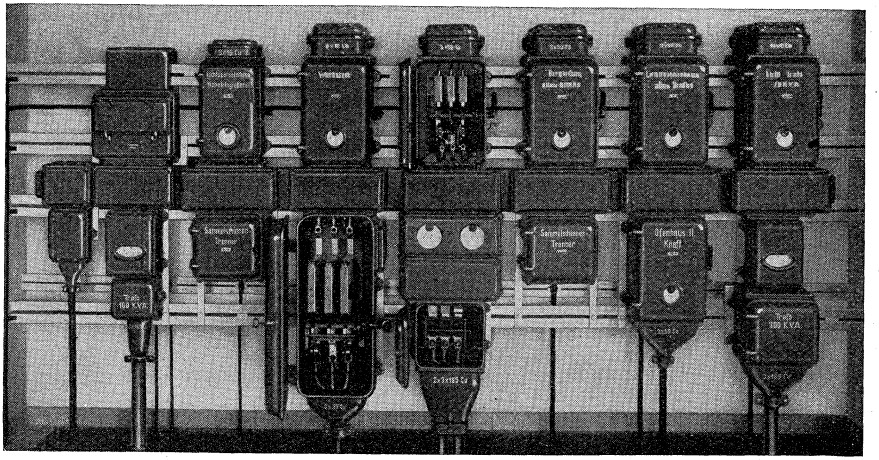


Bild 199. Gußgekapselte Schaltanlage Bauform N mit Überstromausschaltern.

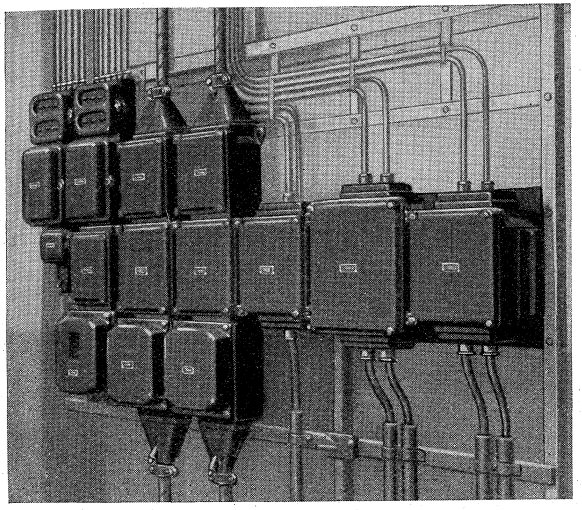


Bild 200. Gußgekapselte Schaltanlage Bauform U mit Lichtverteilungs-, Sicherungs- sowie Abzweigsicherungs- und Klemmenkästen.

Kräftige, vollkommen staub- und wasserdichte sowie rostsichere Gehäuse. Schaltgriffe sind handlich, aber gegen unbeabsichtigtes Schalten geschützt, seitlich zwischen den Kasten angeordnet.

Druckknöpfe sind durch Schutzkragen verdeckt angeordnet. Sehr große Lebensdauer.

Bauform U (gußgekapselt, universal) bis 600 A je Abzweig (Bild 200).

Die neue, vereinfachte Bauform. Nur eine Flanschgröße. Einfache Lagerhaltung durch auswechselbare Einsätze und nur fünf Gehäusegrößen. Kräftige, vollkommen staub- und wasserdichte sowie rostsichere Gehäuse. Sehr große Lebensdauer. Leichtes Erweitern oder Umbauen bestehender Anlagen.

Beide Bauformen N und U können bei Bedarf zusammengebaut werden.

Für leichtere Betriebe.

Bauform J (isoliergekapselt) bis 200 A je Abzweig (Bild 201).

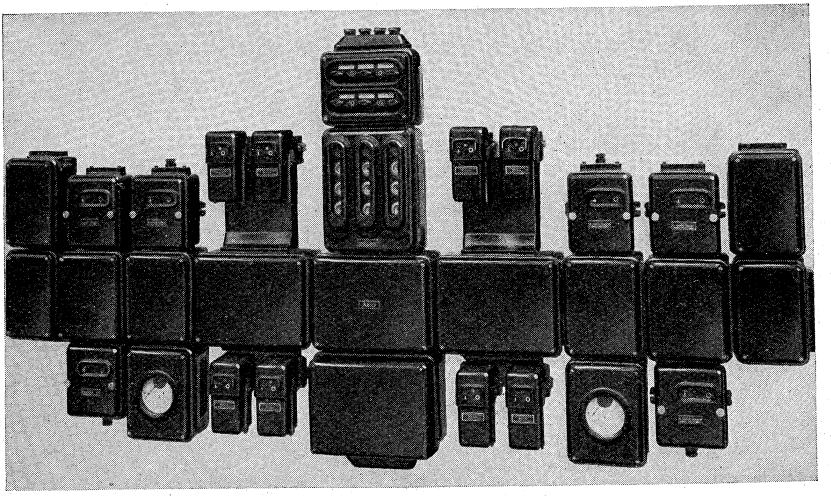


Bild 201. Neunfeldige, isoliergekapselte Schalt- und Verteilungsanlage.

Isolierstoffgehäuse mit Gummidichtung. Die Gehäuse haben Verstärkungsrippen und Gewebeeinlagen in den Kastenböden. Erhöhter Berührungsschutz. Geringes Gewicht. Große Lebensdauer. Kleine Abmessungen. Gutes Aussehen. Gute Erweiterungsmöglichkeit.

Verteilungskästen mit Guß- und Isoliergehäusen.

Der Einheits-Verteilungskasten für Licht und Kraft, Form ELK (Bild 202), ist für sechs Stromkreise in beliebiger Schaltung bei Gleich- und Wechselstrom ausgeführt und einpolig oder zweipolig gesichert; er enthält alle Verteilungsschienen und Verbindungen. Für das Zuleitungskabel kann der Endverschluß je nach Querschnitt vorgesehen werden. Der Anschluß erfolgt im Kasten an Anschlußschrauben; ein Aufteilen des Kabels und Durchführen durch den Kasten fällt daher fort.

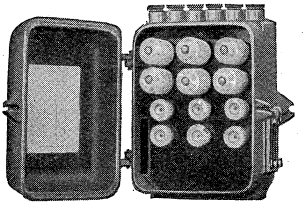


Bild 202. Einheits-Verteilungskasten ELK mit Gußgehäuse.

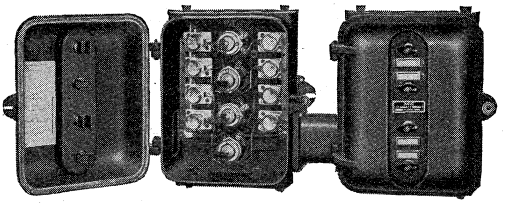


Bild 203. Zwei Verteilungskästen ELS mit Gußgehäuse unmittelbar zusammengebaut (links: Isolierabdeckung herausgenommen).

Für die sechs Ableitungen sind im oberen Flansch sechs Gewindelöcher Pg 21 vorgesehen für Anschluß von Stahlpanzerrohr oder Feuchtraumleitungen bei Verwendung von Stopfbuchsen. Da der Kastendeckel Gelenke und Kordelschrauben- oder Steckschlüsselverschluß hat, ist ein schnelles Auswechseln der Sicherungen oder das Wiedereinschalten der Stöpselautomaten möglich. Gegen Berühren spannungführender Teile schützt eine Abdeckung; Nulleiter- und Erdanschlüsse sind vorhanden. Damit sind alle Gesichtspunkte für eine einwandfreie Installation berücksichtigt worden.

Verteilerkästen mit von außen bedienbaren Schaltern zeigt Bild 203. Diese Verteilerkästen, Form ELS für vier Stromkreise, werden in Räumen verwendet, in denen auch die zugehörigen Leuchten liegen. Eine Ausführung für sechs Stromkreise erhält

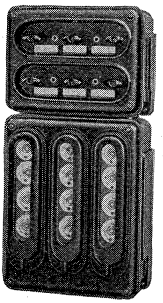


Bild 204. JELK/JSV mit Isoliergehäuse.

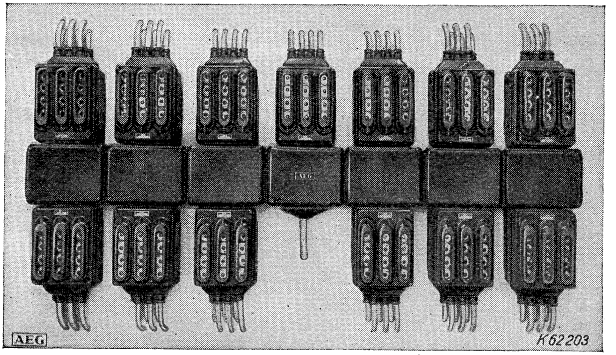


Bild 205. Isoliergekapselte Verteilungsanlage mit JELK-Kästen.

man, indem man auf die erwähnte Form ELK einen Schalterkasten Form SV mit sechs Paketschaltern aufsetzt, so daß im unteren Teil nur die Sicherungen mit den Verteilerschienen und im oberen Teil die sechs Schalter angeordnet sind, ähnlich Bild 204. Der Schalterkasten SV wird, mit sechs ein- oder zweipoligen bzw. mit vier dreipoligen Schaltern ausgerüstet, häufig als einzelner Schalterkasten in Lichtanlagen verwendet.

Alle vorstehend genannten Ausführungen werden sowohl mit Guß- als auch mit Isoliergehäuse ausgeführt. Im letzteren Fall wird der Formbezeichnung ein „J" vorangestellt. Als Beispiele sind in Bild 205 Kästen JELK und in Bild 204 ein Kasten JELK/JSV gezeigt.

Für größere Verteilungen können die Kästen unmittelbar aneinandergebaut (Bild 203) und auch beliebig viele Kästen mittels Sammelschienenkästen zu ganzen gekapselten Verteilungsanlagen (Bild 205) zusammengebaut werden.

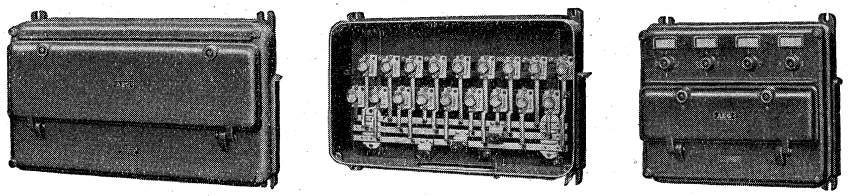


Bild 206. Verteilungskästen VK (für Kraftstromkreise) und VL (für Lichtstromkreise). Links: VK 6 geschlossen; Mitte: VK 6 Deckel und Isolierabdeckung entfernt; rechts: VL 4 geschlossen.

Verteilungskästen für den gleichen Verwendungszweck, jedoch in etwas größeren Abmessungen für eine noch übersichtlichere Verteilung und Anschlußmöglichkeit innerhalb des Gehäuses stellen die Verteilungskästen Form VL und VK (Bild 206) für vier bzw. sechs Stromkreise dar. Sie werden in Betrieben verwendet, die weniger Wert auf eine gedrängte Anordnung als auf kräftigere Ausführung legen. Bei beiden Ausführungen, die nur mit Gußgehäuse geliefert werden, sind die Sicherungen durch eine besondere Klappe schnell und gefahrlos auszuwechseln. Unmittelbarer seitlicher Zusammenbau ist bei VK für 60 A nicht möglich, jedoch sowohl bei VK 25 als auch bei VL.

Von den Verteilungskästen mit Sicherungen oder Elfa-Automaten sei noch eine Sonderausführung erwähnt: der Fußboden-Verteilungskasten VKF. Er wird insbesondere in Webereien und Spinnereien viel verwendet, aber auch allgemein in Betrieben, in denen die Leitungen im Boden oder an der Decke des darunter befindlichen Raumes geführt werden.

Bei Anlagen, in denen mit häufigen größeren Kurzschlüssen zu rechnen ist und in denen Betriebsunterbrechungen durch Auswechseln von Sicherungen vermieden werden sollen, sind Verteilungskästen mit eingebauten, von außen bedienbaren Kleinautomaten (Bild 208) am Platze.

Die Stromzweige können ein- oder zweipolig gesichert werden. Die zweipoligen Kleinautomaten haben zwei gleiche und gleichzeitig arbeitende Hauptkontakte für je 20 A bei 250 V Gleichstrom oder 380 V Wechselstrom von 50 Hz. Die einpoligen sind mit einem Hauptkontakt für die angegebene Schaltleistung und einem Nebenkontakt versehen, der die nichtgesicherte Phase, z. B. den Nulleiter, zwangsläufig mit dem Hauptkontakt abschaltet. In der Regel werden Kleinautomaten mit den Nennstromstufen 2, 4, 6, 10, 15 oder 20 A eingebaut.

Mit Isoliergehäuse (Bild 207) als Form JVL werden die Kästen für 2, 4 oder 5 Stromkreise, mit Gußgehäuse als Form AVL für 4 oder 6 Stromkreise gebaut (Bild 209).

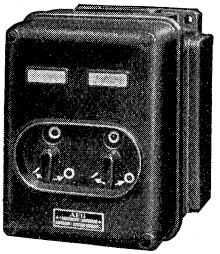
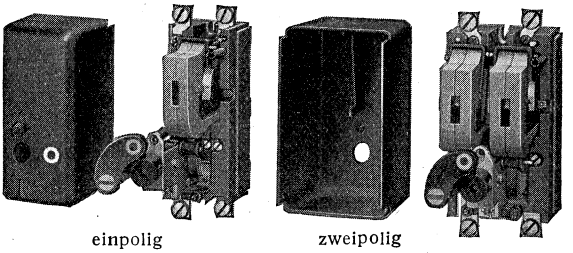


Bild 207. JVL 2 mit Isoliergehäuse.



einpolig zweipolig

Bild 208. Ein- und zweipolige Kleinautomaten für den Einbau in JVL- und AVL-Kästen.

Die Kleinautomaten werden nicht unmittelbar, sondern über eine im Gehäusedeckel eingebaute Mitnehmervorrichtung geschaltet. Ein Überdrehen der Kleinautomaten ist ausgeschlossen. Da die Drehgriffe nach jeder Betätigung unabhängig von der Schaltlage des Kleinautomaten in die senkrechte Lage zurückfedern, dienen sie nicht zur Kennzeichnung der jeweiligen Schaltstellung. Diese ist durch das Glas des oben erwähnten Schaufensters zu erkennen. Für die Betätigung sind die beiden Schaltrichtungen (Einschalten durch Drehen nach links, Ausschalten nach rechts) durch Pfeile gekennzeichnet, an deren Spitzen die Zeichen für „Ein" bzw. „Aus" angebracht sind.

Jedem Kleinautomaten ist oberhalb seines Schaufensters ein Rahmen mit auswechselbarem Schild zugeordnet, auf dem vermerkt werden kann, welcher Stromzweig durch den Kleinautomaten gesichert ist.

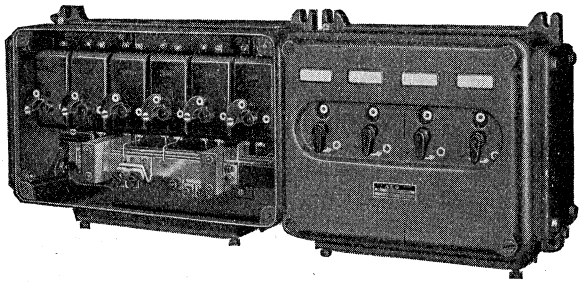


Bild 209. Verteilungskästen AVL 6 (links geöffnet) und AVL 4 unmittelbar zusammengebaut.

Die Vorteile der neuen AVL-Kästen gegenüber der älteren Ausführung sind kurz zusammengefaßt: kleinere Baumaße (Anbau an mittlere Sammelschienenkästen möglich), geringeres Gewicht und leichte Auswechselbarkeit der Automaten.

Offene Verteilungstafeln.

Schalt- und Verteilungstafeln, die nicht von der Rückseite zugänglich sind, müssen nach den Errichtungsvorschriften V.E.S. 1/1930 so beschaffen sein, daß die Zu- und Ableitungen nach der Befestigung der Tafel auf der Vorderseite oder am Rand angeschlossen werden können. Die Klemmstellen der Zu- und Ableitung dürfen nicht auf der Rückseite liegen. Die Tafeln sollen durch eine Umrahmung oder ähnliche Mittel so geschützt sein, daß Fremdkörper nicht an die Rückseite der Tafel gelangen können. Für die Umrahmung ist die Verwendung von Holz zulässig. Der Mindestabstand spannungführender, rückseitig angeordneter Teile von der Wand oder an derselben verlegter metallumkleideter Rohre soll 15 mm betragen.

Die von der AEG hergestellten **Faltverteilungen** sind nach diesen Grundsätzen aufgebaut (Bild 210). Ihre Vorzüge und besonderen Merkmale sind:

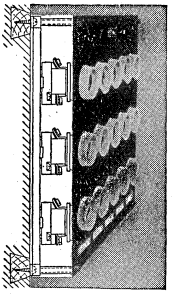
1. Einfache Traggerüste, die auf die Wand geschraubt oder in Nischen eingesetzt werden können.
2. Vorderseitige Verlegung sämtlicher Leitungen sowie vorderseitige Anordnung der Anschlußklemmen. Übersichtliche Leitungsführung. Bei Verwendung von Elfa-Steckautomaten besteht die Möglichkeit einer Umbestückung sowie Ergänzung auch im Betriebszustande.
3. Vorderseitige Befestigung aller Geräte, daher einfaches Auswechseln dieser.
4. Klemmenschutzplatte bzw. Abdeckung nach Befestigung und Anschluß der Geräte aufsetzbar, ohne Abschrauben von Elementringen, Abdeckscheiben für Schalter, Steckdosen usw.
5. Ausführung der Tafeln für Befestigung auf der Wand, halbversenkt und in Wandnischen mit Höhenausgleich durch verstellbar angeordneten Zwischenrahmen.
6. Geschmackvolle Abdeckungen in schwarzem, elfenbeinfarbigem oder grauem Glanz- und Schrumpflack.

In die normalen Faltverteilungen können eingebaut werden: Sicherungselemente E 27, Elfa-Steckautomaten, Drehschalter, Kippschalter, Steckdosen, Lichtdrücker, gemeinsame Sammel- und Nullschienen, Zuleitungs- und Verteilungsklemmen; außerdem lassen sich alle übrigen Schalt- und Sicherungsgeräte formschön und in beliebiger Mannigfaltigkeit anordnen. Die Verbindungsleitungen werden werkseitig in die Tafeln eingebaut.

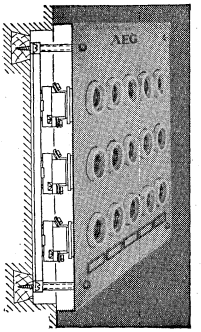
Das Eisengestell besteht aus zwei Tragschienen, auf welche die Querstege zur Aufnahme der Geräte aufgeschweißt werden. Die plombierbaren Abdeckungen werden mit dem Gestell durch Tragwinkel, die ihrerseits mit den Tragschienen verbunden sind, verschraubt. Die Tragwinkel enthalten gleichzeitig die Befestigungslöcher zur Befestigung der Tafel auf der Wand. Diese erfolgt wie üblich mit vier Steinschrauben.

Was die Anordnung der Tafeln betrifft, so werden sie bei Verlegung der Leitungen auf Putz im allgemeinen ebenfalls auf der Wand angebracht (Bild 210a). Es kommt jedoch auch vor, daß bei dieser Verlegungsart die halbversenkte Anordnung der Tafel nach Bild 210b gewählt wird. In beiden Fällen werden die Tafeln mit einer Abdeckung der vier Seiten geliefert, in der die erforderliche Anzahl von ausbrechbaren Öffnungen für 16 mm-Rohre vorgesehen ist.

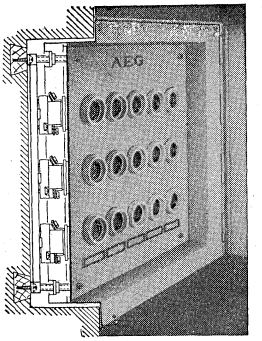
Für unter Putz verlegte Leitungen ist der Einbau der Tafeln in eine Wandnische die passendste Anordnung (Bild 210c). Zur Auskleidung der Seitenwände der Nische dient hierbei ein besonderer Zwischenrahmen.



a) Auf Putz.



b) Halbversenkt.



c) Unter Putz.

Bild 210. Faltverteilungen.

Gegen den Nischenboden ergibt die Klemmenschutzplatte einen sauberen Abschluß. Der Zwischenrahmen ist nach hinten offen, um Feuchtigkeitsausgleich zu ermöglichen. Er ist verstellbar angeordnet, so daß Ungenauigkeiten und Unterschiede in der Nischentiefe gut ausgeglichen werden können. In Ziegelwänden läßt sich die Nische für bestimmte Tafeln schon beim Bau in einfachster Weise durch Weglassen einer Ziegelreihe (12½ cm tief und 25 cm lang) herstellen.

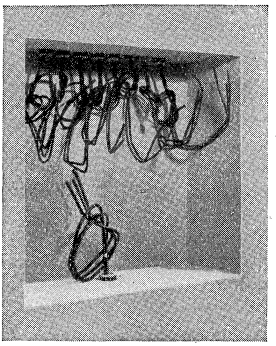


Bild 211. Die fertige Wandnische mit eingezogenen Leitungen.

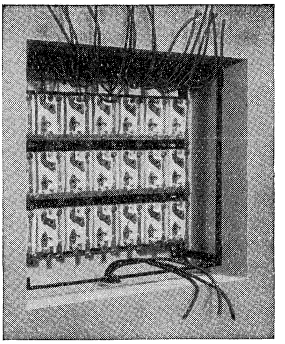


Bild 212. Nische mit eingesetzter Faltverteilung mit Stecksockeln.

Als Abdeckung der Nische sind bei den Normalreihen Gelenktüren vorgesehen, die durch ein innenliegendes Kastenschloß verschließbar sind. Je nach den Wünschen des Architekten und des Bauherrn können auch Nischenauskleidungen aus Holz- oder Ganzmetallkästen und in Anpassung an die jeweilige Architektur die Nischenabdeckungen als Metallrahmen mit Glasfenster, Holztüren, Glas- oder Metallschiebetüren u. ä. vorgesehen werden. Die Bilder 211, 212, 213, 214 zeigen einige Einzelheiten des Einbaues einer AEG-Faltverteilung in eine Nische. Die Verteilung ist mit Stecksockeln ausgerüstet. Das Einsetzen der Elfa-Steckautomaten erfolgt erst bei der Inbetriebsetzung der Anlage.

Um die Faltverteilungen auch für beengte Räume verwendbar zu machen, werden sie mit Hebeltür ausgeführt, die nach unten geklappt wird und ungehinderten Zugang zu der Verteilung bei Ausbesserungen, Erweiterungsarbeiten, Sicherungsersatz usw. ermöglicht.

Obwohl die Faltverteilungen hinsichtlich der einzubauenden Geräte die verschiedensten Zusammenstellungen gestatten, wird man doch manchmal eine andere Bauart verwenden müssen. Sehr gebräuchlich ist ein eiserner Rahmen mit aufgeschraubter **Blechplatte,** auf der dann die notwendigen Geräte in zweckmäßiger Anordnung befestigt werden.

In den wenigen Fällen, in denen die Platte gleichzeitig isolierend wirken muß, werden schließlich die früher durchweg üblichen **Marmortafeln** verwendet. Eine empfehlenswerte Bauart ist in Bild 215 veranschaulicht.

Als Verbindung mit den Leitungen sind hier Anschlußklemmen zum

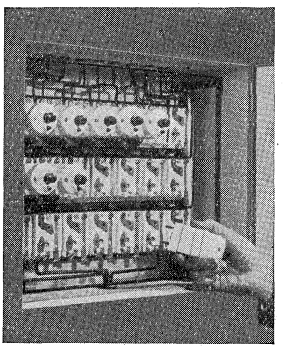


Bild 213. Verteilung mit angeschlossenen Leitungen.

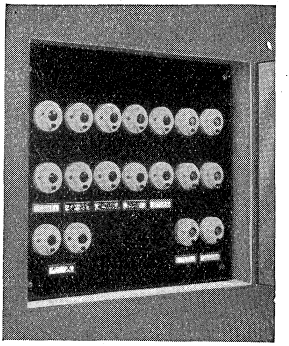
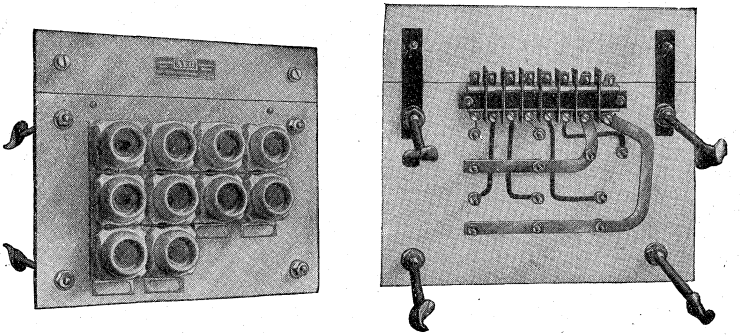


Bild 214. Fertig eingebaute Verteilung.

Aufreihen auf Flacheisen verwendet worden. Bei Spannungen über 250 V sind zweckmäßig zwischen die Klemmen noch isolierende Zwischenlagen aus Preßzell einzufügen. Das Flacheisen wird mittels zwei Schrauben von der Vorderseite der Tafel aus in solcher Höhe an die Rückseite geschraubt, daß die Isolierkörper der aufgereihten Klemmen mit der Oberkante der Tafel abschneiden.



Vorderansicht. Rückansicht.
Bild 215. Verteilungstafel mit Schaltsicherungen.

Die Anbringung der Tafel erfolgt wie gewöhnlich mit vier Steinschrauben. Die beiden oberen tragen auf einem Vierkant eine kleine Flacheisenschiene, an welche zur Abdeckung der überstehenden Klemmschrauben je nach dem Werkstoff der Schalttafel eine Leiste aus Marmor oder Schiefer befestigt wird. Ein seitliches Verdrehen der beiden Eisenschienen wird durch den Vierkant verhindert.

In Bild 216 werden noch 2 Einbaubeispiele für Faltverteiler gezeigt.

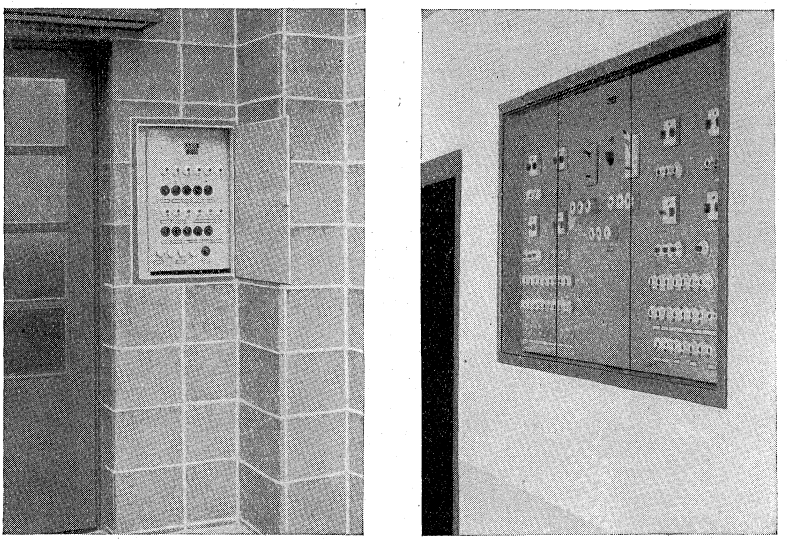


Bild 216. Einbaubeispiele für Faltverteiler.

KURZSCHLUSS-SICHERHEIT IN INDUSTRIE-ANLAGEN

A. Kurzschlußgefahren und Wege zu ihrer Vermeidung durch Vorausberechnung.

Die an Schaltanlagen allgemein zu stellenden Anforderungen sind mit Erhöhung der umzusetzenden Leistungen bei teilweise für diese Leistungen recht niedrigen Betriebsspannungen ständig gestiegen. Dies gilt insbesondere für Industrieanlagen, die infolge der Zusammendrängung des Verbrauches elektrischer Energie auf verhältnismäßig kleinem Raum Verteilungsnetze mit kurzen Leitungslängen im Gegensatz zu öffentlichen Elektrizitätswerken besitzen und zusammen mit den großen Leiterquerschnitten den Kurzschlußströmen nur eine geringe Dämpfung entgegenzusetzen vermögen. Bei vielen Anlagen, bei denen mit der Leistungserhöhung nicht rechtzeitig eine entsprechende Verstärkung der Anlagenteile zwecks Erhöhung der Kurzschlußsicherheit durchgeführt wurde, waren schwere Betriebsstörungen mit teilweise erheblichem Fertigungsausfall die Folge. Eine verantwortungsbewußte Betriebsführung wird deshalb stets für den hier in Frage kommenden Teil der Gesamtanlage, nämlich die Schaltanlage, Raum und Mittel in einem Umfange zur Verfügung stellen, wie es für die Sicherheit des Betriebes und der Belegschaft erforderlich ist.

Kurzschlüsse können in elektrischen Anlagen sehr schwere Störungen hervorrufen. Ihre Entstehungsursachen sind so mannigfach und so bekannt, daß an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen zu werden braucht.

Folgende drei Auswirkungen als Folge von Kurzschlüssen werden am häufigsten beobachtet:

Die mechanischen Wirkungen des Kurzschlußstromes entstehen im wesentlichen durch den Stoßkurzschlußstrom, d. i. der bei einem plötzlichen Kurzschluß auftretende höchste Augenblickswert des Stromes.

Zwischen den Leitern können bei Sammelschienen, Umspannern, Stromwandlern, Kabelendverschlüssen usw. durch den Kurzschlußstrom bedeutende Kräfte auftreten, die, je nachdem die Stromrichtungen in beiden Leitern gleich- oder entgegengerichtet sind, anziehend oder abstoßend wirken. Falsch entworfene oder unsachgemäß eingebaute, insbesondere einpolige Trennschalter können durch sehr hohe Stoßkurzschlußströme zuweilen auch aufgerissen werden; zu schwache Primär-Überstromauslöser werden mechanisch zerstört und verhindern dadurch die ordnungsgemäße Ausschaltung des Leistungsschalters. Bei Sammelschienen und ähnlichen Leiteranordnungen wird die mechanische Beanspruchung noch erhöht, wenn die Leiter oder Leiterabschnitte Eigenschwingungszahlen besitzen, die sich der einfachen oder doppelten Netzfrequenz annähern. Dieser Schwingungsbereich ist daher bei der Planung zu vermeiden.

Thermische Wirkungen werden neben dem Stoßkurzschlußstrom in der Hauptsache durch Dauerkurzschlußstrom verursacht. Der Dauerkurzschlußstrom ist derjenige Wert des Stromes, der nach vollständigem Abklingen des Stoßkurzschlußstromes bestehen bleibt (stationärer Kurzschlußstrom). Der Dauerkurzschlußstrom ist wärmemäßig meist gefährlicher als der Stoßkurzschlußstrom, weil er auf die Anlagenteile wesentlich länger einwirkt. Die üblichen Folgen einer thermischen Überbeanspruchung durch Kurzschlußströme sind: das Verbrennen der Leiterisolierung bei Stromwandlern, Umspannern, Maschinen, auf den Schaltern aufgebauten Überstromauslösern usw., das Ausglühen der Leiter und Kabel, das Spritzfeuer an schlecht angezogenen Leitungskontakten und dgl., das Verschweißen oder die Zerstörung der Kontakte an Hochspannungs-Leistungs- bzw. Niederspannungs-Selbstschaltern beim Schalten auf einen bestehenden Kurzschluß.

Die dritte Folgeerscheinung der Kurzschlüsse besteht in der Gefährdung der Leistungs- und Selbstschalter durch die im Abschaltlichtbogen freiwerdende Leistung. Im Gegensatz zu den vorgenannten mechanischen und thermischen Auswirkungen des Kurzschlusses, die reine Stromwirkungen sind, ist die

Lichtbogendauer bei diesen Schaltern auch in erheblichem Maße von der Spannung abhängig. Der Grad dieser Abhängigkeit ist je nach der Spannungshöhe und der Ausführung der Schalter verschieden. Bei den Öl- und Druckgasschaltern ist er z. B. unterhalb von etwa 6 kV nur sehr klein, so daß dort praktisch nur der zulässige Grenzausschaltstrom für die Gefährdung maßgebend ist. Oberhalb 6 kV macht sich dann der Einfluß der Spannung geltend, so daß das Ausschaltvermögen eine Funktion der wiederkehrenden Spannung und des Ausschaltstromes ist. Außerdem ist die Beanspruchung der Schalter beim Abschalten eines Kurzschlusses wesentlich von dem Leistungsfaktor abhängig, der durch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung im Kurzschlußpfad, gerechnet vom Schalter bis zum Fehlerort, gegeben ist, und von der Einschwingungsfrequenz, welche die Anstiegssteilheit der wiederkehrenden Spannung bestimmt.

Bei den Hartgasschaltern (kompressorlosen Druckgasschaltern) liegen die Verhältnisse ähnlich. Dagegen wird bei den Niederspannungs-Luftschaltern die Abschaltung innerhalb des üblichen Spannungsbereiches von 220 bis 500 V mit steigender Spannung erschwert, so daß der zulässige Strom entsprechend kleiner ist. In ähnlicher Weise wie die Leistungsschalter verhalten sich die neuzeitlichen Hochleistungs-Sicherungen für Hoch- und Niederspannung.

Aus den vorstehenden Ausführungen ergibt sich somit, daß es bei der Planung neuer Netze ebenso wie bei Erweiterungen vorhandener darauf ankommt, sich soweit wie irgend möglich über die zukünftigen Kurzschlußverhältnisse Klarheit zu verschaffen. Genaue Werte darüber erhält man nur auf Grund von Kurzschlußversuchen am fertigen Netzgebilde, verbunden mit oszillographischen Aufnahmen. Dieses Verfahren ist jedoch sehr umständlich und kostspielig und überdies nicht immer durchführbar.

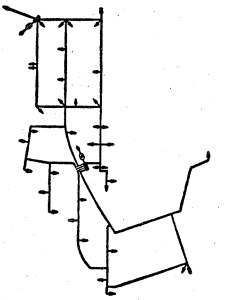


Bild 1.
Maschennetz.
→ = Leistungsentnahme.

Für die Vorausbestimmung der Kurzschlußverhältnisse haben sich nun im Laufe der Zeit Rechnungsverfahren herausgebildet, mit deren Hilfe man die in Netzanlagen zu erwartenden Kurzschlußleistungen an allen Punkten dieses Netzes schätzungsweise ermitteln kann. Ein weiteres Hilfsmittel zur Erzielung größtmöglicher Kurzschlußsicherheit sind die Netzmodelle (Meßschränke), die das Netzgebilde einschließlich der Umspanner und Kurzschlußdrosselspulen durch ohmsche und in größeren Ausführungen auch durch induktive Widerstände darstellen. Sie sind besonders wertvoll bei stark vermaschten Netzen mit entsprechend starrer Spannung bei Kurzschluß, wobei sich die Kurzschlußstromstärke durch den Quotienten aus Netzbetriebsspannung und Scheinwiderstand der Kurzschlußbahn ergibt. Die mit einem solchen Netzabbild gewonnenen Werte sind verhältnismäßig genau und ersetzen somit umständliche Rechnungsarbeiten, zumal wenn künftige Erweiterungen gleich mitberücksichtigt werden.

Besonders wertvoll erweisen sich diese Netzmodelle für die Feststellung der Kurzschlußströme in den umfangreichen Niederspannungs-Netzgebilden für Industrie-Großanlagen. Die Berechnung eines verwickelten Netzgebildes, wie beispielsweise eines Maschennetzes nach Bild 1, würde nach den üblichen Berechnungsarten sehr viel Zeit und große Erfahrung erfordern. Letztere ist insbesondere bei der Zerlegung des Großnetzes in einfachere der Berechnung zugänglichere Netzteile ausschlaggebend, da hier für die Stromverteilung zunächst geschätzte Werte in Ansatz gebracht werden müssen. Es liegt auf der Hand, daß bei solchen Berechnungen durch einen fehlerhaften Ansatz dieser wichtigen Größen sehr leicht das Gebiet der rohen Schätzung erreicht wird, so daß das Ergebnis einer solchen Kurzschlußberechnung kaum noch für die Ausführung einen Wert besitzt (vgl. hierzu auch die Angaben über Netzarten im Abschnitt: „Leitungsnetze und Leitungen").

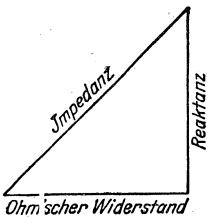


Bild 2. Geometrische Addition von ohmschem Widerstand und Reaktanz

Netzanlagen, die auf Grund sorgfältig durchgeführter Kurzschlußberechnungen geplant und mit geeigneten Schutzmitteln versehen sind, gewährleisten dann einen Betrieb mit hohem Sicherheitsgrad und bieten mithin auch wirtschaftliche Vorteile. Die Kurzschlußströme verlieren dadurch bei richtiger Auswahl der Geräte entsprechend dem Rechnungsergebnis ihre Gefährlichkeit. Die Zerstörungen bei Kurzschluß bleiben klein und auf den Entstehungsherd beschränkt. Die durch Kurzschlüsse verursachten Stromausfälle werden in mäßigen Grenzen gehalten.

In den nachstehenden Ausführungen ist mit Reaktanz (Blindwiderstand) ein elektrischer Widerstand bezeichnet, der beim Durchfließen von Wechselstrom, wie der ohmsche Widerstand, einen Spannungsabfall hervorruft. Dieser hat hier jedoch gegen den Strom eine Phasenverschiebung von 90° und bringt daher keine Wattverluste mit sich. Reaktanz und ohmscher Widerstand ergeben in der Zusammensetzung nach Bild 2 die Impedanz (Scheinwiderstand).

B. Mittel zur Begrenzung der Kurzschlußleistung.

Das Ziel, die zulässige Kurzschlußleistung in einer Anlage mit der zu erwartenden Kurzschlußleistung in Einklang zu bringen, so daß die Anlage dann als „kurzschlußsicher" bezeichnet werden kann, läßt sich zunächst durch entsprechende Bemessung der gefährdeten Anlagenteile in Anpassung an die zu erwartende Kurzschlußleistung erreichen. Dieses etwas rohe Mittel ist zwar in manchen Fällen angebracht, meist ist es aber wirtschaftlicher, den entgegengesetzten Weg zu gehen, und zu untersuchen, ob nicht durch eine geeignete Planung eine Verkleinerung der Kurzschlußleistung möglich ist. Der sich dann ergebenden Kurzschlußleistung müssen selbstverständlich die Anlagenteile angepaßt werden, um die „Kurzschlußsicherheit" zu erreichen. Durch die unter Umständen erhebliche Verkleinerung der Kurzschlußleistung wird oft schon erreicht, daß die durch Betriebsstrom und Betriebsspannung gegebenen Mindestgrenzen für die Geräte nicht überschritten zu werden brauchen. Schließlich kommt es dabei aber darauf an, den Bestwert zu finden, bei dem sich Anschaffung und Betrieb am wirtschaftlichsten gestalten.

Das nächstliegende und einfachste Mittel, die Kurzschlußleistung einer Anlage zu verkleinern, ist die Aufteilung der Kraftwerksleistung. Von einer besonderen Behandlung solcher Kraftwerks-Unterteilung soll hier abgesehen werden, da die Begutachtung der Kurzschlußfragen dadurch nicht berührt wird, und lediglich an Stelle der gesamten erzeugten Leistung die jeweils in Betracht kommende Teilleistung einzusetzen ist. Es werden weiter unten bei der Behandlung der „Reaktanzspulen" in einem Beispiel Wege zur Unterteilung der Leistung durch Wahl von unterteilten Einfachsammelschienen oder Doppelsammelschienen gezeigt, wobei die einzelnen Teilabschnitte nach Bedarf über Längs- und Querdrosseln gekuppelt werden können. Das Mittel der Unterteilung bleibt jedoch nur dann wirksam, wenn seitens der Betriebsführung unter keinen Umständen Kopplungen vorgenommen werden, die nicht von vornherein vorgesehen wurden.

Wenn man von der Kraftwerks-Unterteilung absieht, beruhen die für die Verringerung der Kurzschlußleistung in Betracht kommenden Mittel zunächst im wesentlichen darauf, die Betriebsspannung so hoch zu wählen, wie es in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht möglich ist. Bei Neuanlagen wird man dies als eine Selbstverständlichkeit ansehen, bei vorhandenen Anlagen mit bereits festliegender zu niedrig gewählter Verteilungsspannung ist bei der großen Mehrzahl die Umstellung auf eine höhere Spannung möglich, wenn z. B. seitens des neuen Abnehmers Bauten für die Erweiterung der Fertigung vorgenommen werden u. dgl.

Ergibt sich eine solche Gelegenheit nicht oder ist aus anderen Gründen eine Umstellung nicht möglich, so ist man darauf angewiesen, die Impedanz zwischen dem Kraft- oder Umspannwerk und der gefährdeten Stelle zu vergrößern. Es liegt nahe, zu diesem Zweck den ohmschen Widerstand der Zuleitung selbst zu erhöhen. Da hierdurch der Spannungsabfall in der Leitung größer wird, so widerspricht diese Maßnahme der allgemeingestellten Forderung auf Einhaltung eines möglichst kleinen Spannungsabfalls zur Verringerung der Verluste. Die Anwendung dieses Mittels zur Verminderung der Kurzschlußleistung kommt daher nur in einer sehr beschränkten Zahl von Sonderfällen bei Niederspannungsanlagen in Betracht, bei denen die dadurch bedingte Erhöhung des Leistungsverlustes noch tragbar ist.

Dem angestrebten gleichen Ziele kommt man näher, wenn man Widerstände verwendet, die im normalen Betriebszustand keine oder nur geringe Verluste haben und nur im Falle eines Kurzschlusses zur vollen Auswirkung kommen. Diese Forderung läßt sich in gewissen Grenzen durch spannungsabhängige Eisenwiderstände und durch Reaktanzen erfüllen. Die Wirkung der Eisenwiderstände nach Dr. Küppers beruht auf der Verwendung eines besonderen Widerstandswerkstoffes, welcher im kalten Zustande nur einen verhältnismäßig kleinen spezifischen Widerstand, aber einen sehr großen Temperaturkoeffizienten hat. Wie Bild 3 zeigt, sind hierzu bestimmte Eisensorten sehr geeignet. Wird infolgedessen der Widerstand so bemessen, daß er sich bei normalem Betriebsstrom nur wenig erwärmt, bei einem Kurzschluß aber durch den Stromanstieg sehr heiß (etwa rotglühend) wird, so ergibt das einen kleinen Widerstand im normalen Betrieb und damit auch einen kleinen Spannungsabfall bei erträglichen Verlusten, im Kurzschlußfalle aber einen hohen Widerstand, wodurch der Kurzschlußstrom auf einen verhältnismäßig kleinen Wert begrenzt wird (Bild 4). Die Anwendung solcher Eisenwiderstände für den Kurzschlußschutz ist aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus nur in Niederspannungsnetzen und — in Sonderfällen — bis zu 3000 V am Platze. Wenn auch die Anschaffungskosten im Vergleich zu den nachstehend behandelten Reaktanz-Spulen gering sind, ist doch der Leistungsverlust immerhin schon beträchtlich, da die Schutzwiderstände einen Spannungsabfall von etwa 0,5% bei Nennstrom aufweisen. Als Vorteil dieser im wesentlichen ohmschen Widerstände ist anzusehen, daß sie den Kurzschluß-Leistungsfaktor verbessern und damit die Beanspruchung der Selbstschalter verringern.

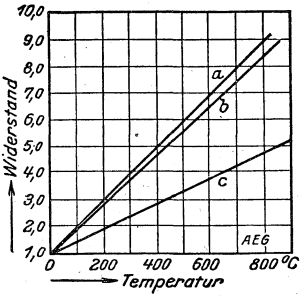


Bild 3. Widerstandszunahme von Eisen bei steigender Temperatur:
a) schwedischer Holzkohlenstahl,
b) normales Tiefziehblech,
c) Bandstahl.

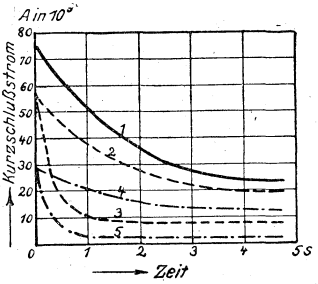


Bild 4. Verlauf des Kurzschlußstromes in einem Abzweig für 550 V eines chemischen Werkes: 1 ohne Begrenzungswiderstände, 2 mit Begrenzungswiderständen für ½% (400 A), ohne Berücksichtigung der Erwärmung, 3 wie 2 mit Berücksichtigung der Erwärmung, 4 u. 5 wie 2 u. 3, jedoch mit Widerständen für ⅛% (100 A).

Eisenwiderstände werden nur noch verhältnismäßig selten verwendet, da die neuzeitlichen Selbstschalter für größere Nennströme eine hohe Kurzschlußfestigkeit bei äußerst verringerten Schaltzeiten aufweisen und bei kleinen Nennströmen die kurzschlußfesten Vorschaltsicherungen vorherrschen.

Von größter Bedeutung für die Erhöhung der Kurzschlußsicherheit der Anlage sind dagegen nach wie vor die Kurzschlußstrom-Begrenzungsdrosseln. Die Eignung derartiger Reaktanzen für die Begrenzung von Kurzschlußströmen beruht auf ihrer Eigenschaft, einen Spannungsabfall hervorzurufen, welcher

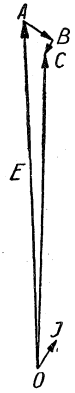


Bild 5. Spannungsabfall durch Reaktanz. A—B induktiver Spannungsabfall. B—C ohmscher Spannungsabfall.

gegenüber dem Strom um 90° phasenverschoben ist. Der im normalen Betrieb durch sie verursachte zusätzliche Spannungsabfall wird auch dann noch gering sein, wenn sie so ausgelegt sind, daß sie bei einem Kurzschluß den Strom auf einen verhältnismäßig kleinen Wert begrenzen (Bilder 5, 6). Die spannungsändernde Wirkung der Reaktanz im normalen Betrieb hängt, wie aus Bild 5 zu ersehen ist, von der Phasenverschiebung des durchfließenden Betriebsstromes ab. Noch deutlicher zeigt dies Bild 7, welchem die Spannungsabfallwerte, die durch Reaktanzen verschiedener Größe im normalen Betrieb je nach dem cos φ hervorgerufen werden, entnommen werden können. e_D ist hier der Spannungsabfall bei Kurzschluß, für den die Drosselspule ausgelegt ist. Bei einer Kurzschlußstrombegrenzung mit Reaktanzen wird der Kurzschluß-cos φ verschlechtert, so daß die Abschaltung unter einem sehr schlechten Leistungsfaktor erfolgen muß.

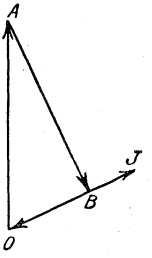


Bild 6. Spannungsabfall durch Reaktanz im Kurzschluß. A—B induktiver Spannungsabfall. B—O ohmscher Spannungsabfall.

Insbesondere bei Niederspannungsanlagen muß daher der dadurch vergrößerten Beanspruchung der Schalter bei Bemessung der Reaktanzen Rechnung getragen werden; bei ungeeigneter Auswahl ergeben sich Fälle, bei denen der Einbau der Reaktanzen die Abschaltbedingungen verschlechtern kann. In welcher Form die Reaktanzen bei Niederspannungsanlagen in den Stromkreis eingeführt werden, ob als Umspanner oder als besondere Drosselspule zur Kurzschlußstrombegrenzung, entscheidet im Einzelfall die Wirtschaftlichkeit.

Für Hochspannungsanlagen werden Kurzschluß-Drosselspulen im allgemeinen ohne Eisen ausgeführt, da bei Spulen mit Eisenschluß der Blindwiderstand mit wachsender Stromstärke infolge der Eisensättigung abnimmt und damit einer wirksamen Strombegrenzung entgegenarbeitet. Der Widerstand der Kurzschluß-Drosselspulen und damit die Wirkverluste sind bei richtiger Bemessung der Leiterquerschnitte im Nennstrombetrieb gering. Eisenlose Drosselspulen gelangen hauptsächlich in den Sammelschienen als Kopplungsglieder, in den Zuleitungen und Abzweigen einer Sammelschiene und zum Teil auch bei älteren Stromerzeugern mit geringer Streureaktanz sowie bei harten Umspannern, d. h. solchen mit kleiner Kurzschlußspannung (siehe Seite 71) zur Anwendung.

In allen größeren Kraftwerken werden die Sammelschienen zur Vermeidung zu großer Stoß- und Dauerkurzschlußströme in Gruppen unterteilt. Bei großen Stromerzeuger-Einheiten arbeitet auf solche Gruppe meist nur eine einzige Maschine; bei ihrem Ausfall würde die Stromversorgung des entsprechenden Netzteiles zum Erliegen kommen. Um dies zu vermeiden, ordnet man zwischen den Teilsammelschienen eines solchen Kraftwerkes Kopplungs-Drosselspulen mit einer hohen Reaktanz von 8 bis 15% an (Bild 8a*); derartige elastische, d. h. nicht

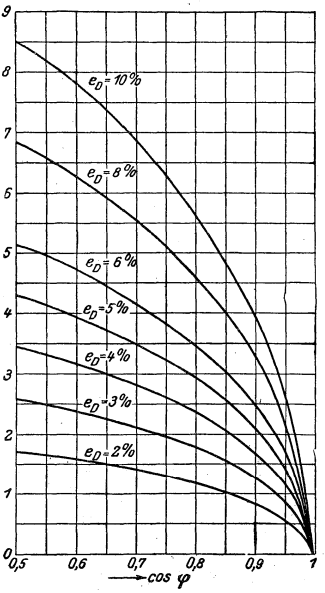
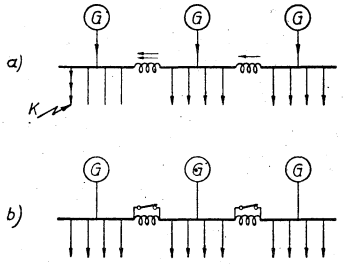


Bild 7. Ermittlung des Spannungsabfalls durch Reaktanzen. Z. B. ergibt sich für cos φ = 0,85 und e_D = 6% ein Spannungsabfall von 3 %.

*) Aus „Kurzschlußströme in Drehstromnetzen", von Dr.-Ing. Michael Walter.

starre Kopplungen geben dann die Möglichkeit, bei Ausfall eines Stromerzeugers den betreffenden Netzteil durch die benachbarten Stromerzeuger zu beliefern und begrenzen gleichzeitig deren Anteil an der Kurzschlußleistung bei eintretender Störung in einem Teilabschnitt. Um zu verhindern, daß bei längerem Ausfall der Stromerzeugung eines Teilabschnittes dieser auf die Dauer gegebenenfalls mit zu großem Spannungsabfall betrieben werden muß, erhalten die Drosseln bisweilen Überbrückungsschalter (Bild 8b). Zuleitungen und Abzweige einer Verbraucher-Sammelschiene schützt man durch Drosselspulen, wobei zu beachten ist, daß diese Drosseln selbst erst bei einer Reaktanz von 5% ab kurzschlußsicher gebaut werden können.



a) Elastische Kopplung.
b) Harte Kopplung.

Bild 8. Kurzschluß-Drosselspulen in den Sammelschienen eines Kraftwerkes.

Die Frage, wie die Kurzschlußstrombegrenzung am wirtschaftlichsten durchführbar ist, ob durch Anordnung der Reaktanz in der Zuleitung oder in den Abzweigen, oder sogar in beiden, muß von Fall zu Fall geprüft werden. Da der Höchstwert des Kurzschlußstromes von den vorgeschalteten ohmschen und induktiven Widerständen (R) abhängt, die Verluste in diesen aber mit dem Strome quadratisch anwachsen ($I^2 . R$), ergeben sich hinsichtlich Anschaffung und Betriebsverluste um so günstigere Verhältnisse, je kleiner die Durchgangsleistung ist. Es ist also nicht gleichgültig, ob eine Schaltung gemäß Bild 9 oder Bild 10 gewählt wird. Die Kurzschlußstrom- und die Stromwirtschaftlichkeitsberechnung wird dabei vorzugsweise für die Anordnung der Reaktanzen in den einzelnen Abzweigen entscheiden. Es kann sich jedoch ergeben, daß sich die Herstellung der drei kleinen Reaktanzen D_2 in Bild 10 nicht billiger stellt als die der Reaktanz D_1 in Bild 9. Wenn nun in solchem Fall auch die etwas größeren Verluste für den Betrieb keine wesentliche Bedeutung haben, so ist der Einbau von einer Reaktanz aus Gründen der Raumersparnis günstiger als von dreien, deren äußere Einzelabmessungen nicht erheblich kleiner werden können. Außerdem ist der Einbau der Reaktanz nach Bild 9 noch insofern vorteilhaft, als ihr Wirkungsbereich größer wird, da er schon in der Zuleitung beginnt. Diese Überlegungen sollen keineswegs die Unterteilung der Kurzschlußstrombegrenzung allgemein als unzweckmäßig hinstellen. Sie sollen aber zeigen, daß die Leistungsunterteilung nicht unter allen Umständen eine größere Wirtschaftlichkeit ergibt, sondern daß man bei Berücksichtigung aller Bedingungen im Einzelfall bei der Planung auch zu abweichenden Ergebnissen gelangen kann.

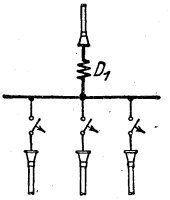


Bild 9. Abzweige mit gemeinsamer Reaktanz.

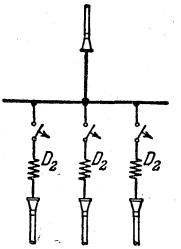
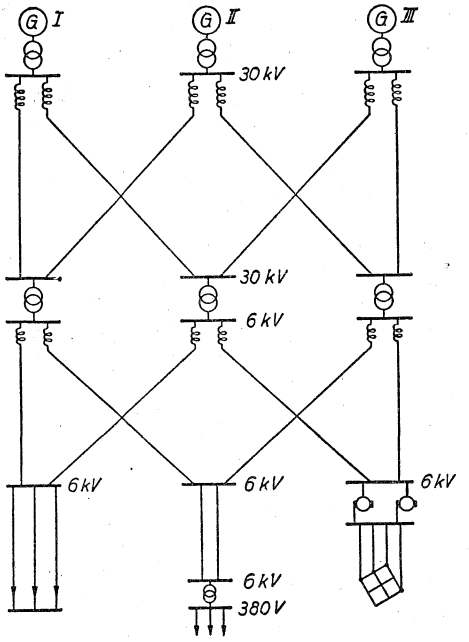


Bild 10. Abzweige mit besonderen Reaktanzen.

Nachstehend seien noch zwei Beispiele für den Kurzschlußschutz von Gesamtanlagen erwähnt, die mehr und mehr als Regelausführung für Netze mit großen Umsatzleistungen angesehen werden.

Bild 11 zeigt ein grundsätzliches Netzschaltbild mit Drosselspulen in 30- und 6-kV-Kabeln, bei dem die Anordnung der Drosseln so gewählt ist, daß trotz reichlicher Vermaschung der Netze eine sehr wirksame Begrenzung der Kurzschlußströme sowohl auf der 30-kV- als auch auf der 6-kV-Seite erzielt wird.

Bild 12 zeigt weiter ein Netzschaltbild für ein neuzeitliches Industrienetz mit höchsten Leistungen. Bemerkenswert ist hierbei insbesondere die Kopplung der Kraftwerke für die Eigenerzeugung mit der Reichssammelschiene über 220 und 100 kV.



a) Hochspannungsabnehmer; b) Drehstrom - Niederspannungsnetz; c) Gleichstrom - Niederspannungsnetz.

Bild 11. Vermaschtes Kabelnetz mit Kurzschluß-Drosselspulen. (Die Stromerzeuger I bis III können im gleichen Kraftwerk oder in verschiedenen Werken aufgestellt sein).

strom von den 3-kV-Generatoren gelangt in das kranke 30-kV-Kabel über diejenige Wicklungsgruppe des Umspanners, die eine Kurzschlußspannung von 11% besitzt, während die anderen Wicklungsgruppen für den Normalbetrieb Streuspannungen von nur 5 und 8% aufweisen.

Das gleiche Ziel verfolgt die Schaltung von Stromerzeugern nach Bild 15, auf die vornehmlich bei großen Generatoreneinheiten zurückzugreifen ist.

Für die einzelnen Verbraucher ist hier größte Sicherheit in der Stromlieferung gewährleistet. Daneben bietet die Schaltung, eben infolge der sehr elastischen Kopplungen der einzelnen Stromerzeuger-Gruppen durch Drosselspulen, den Vorteil verhältnismäßig kleiner Stoß- und Dauerkurzschlußströme an den Verbraucher-Sammelschienen.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle auf einige Schaltungs-Sonderheiten hingewiesen. Das Bild 13 zeigt eine insbesondere in Niederspannungsnetzen vorteilhaft verwendete Schaltung von eisenlosen Drosselspulen mit Mittenanzapfung für die Einspeisung. Durch diese Anordnung wird erreicht, daß im Normalbetrieb so gut wie kein Spannungsabfall an der Drossel auftritt, wenn in den beiden Spulenhälften mit bifilarer Wicklung annähernd gleiche Ströme fließen. Im Kurzschlußfalle wirkt sich jedoch die Drosselwirkung der betroffenen Spulenhälfte voll aus. Man hat sich dieser Ausführung jedoch nur in sehr vereinzelten Fällen bedient.

Ein weiteres, sehr wirksames Mittel zur Begrenzung der Kurzschlußströme bieten gelegentlich Dreiwicklungsumspanner, wie in Bild 14 dargestellt ist. Der Kurzschluß-

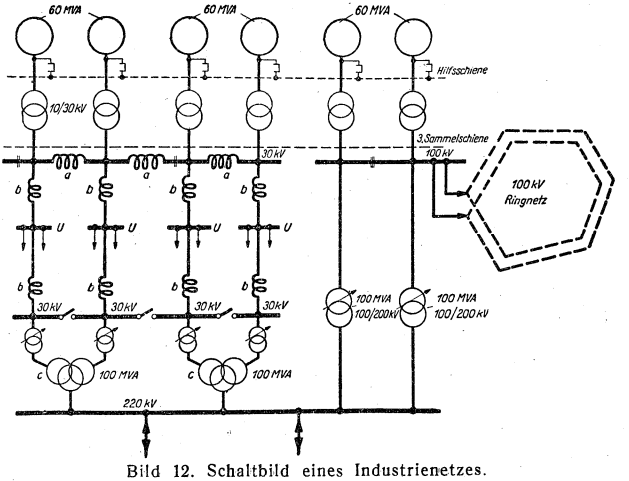
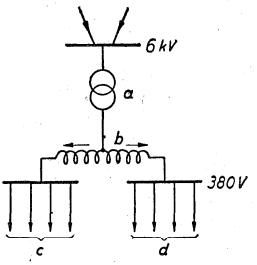


Bild 12. Schaltbild eines Industrienetzes.



a) Umspanner; b) Kurzschluß-Drosselspule; c) und d) Abzweigkabel.

Bild 13. Netzstation mit Kurzschluß-Drosselspule in Sonderausführung (Doppelwicklungsspule).

Auch hier verhindert die höhere Reaktanz zwischen den beiden Wicklungsgruppen der parallel arbeitenden Stromerzeuger, daß bei einem Fehler in einem Generator der andere seine volle Kurzschlußenergie auf die kranke Stelle werfen kann. Die Wicklungsgruppen des Umspanners für den Normalbetriebsfall weisen auch hier eine entsprechend geringe Kurzschlußspannung auf.

Zuletzt seien an dieser Stelle als Schutz der Anlage gegen zu hohe Beanspruchung durch Kurzschlußströme die Hochleistungssicherungen erwähnt.

Für Hochspannungsanlagen sind, vornehmlich von der AEG, Hochleistungs-Schmelzsicherungen mit geschlossener Patrone für große Kurzschlußleistungen (etwa 400 MVA) und Nennströme entwickelt worden (Bild 16). Sie begrenzen den Kurzschlußstrom im Entstehen auf einen geringen Bruchteil seines eigentlichen Wertes, sind kurzschlußflink und demgemäß empfindlich gegen kurzzeitige Überlastungen, wie etwa Einschaltstromstöße von leerlaufenden Umspannern, Kondensatoren und dgl. Wegen des somit erforderlichen Übersicherns muß der Überlastungsschutz auf einem anderen Wege z. B. durch Zusammenarbeit mit Wärmeauslösern usw. erreicht werden, während die Sicherungen selbst nur den reinen Kurzschlußschutz übernehmen.

In gleicher Weise werden in Niederspannungsnetzen entsprechende Hochleistungssicherungen als Kurzschlußschutz, insbesondere bei kleinen Nennströmen als Vorschaltsicherungen angewendet.

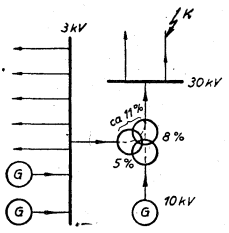
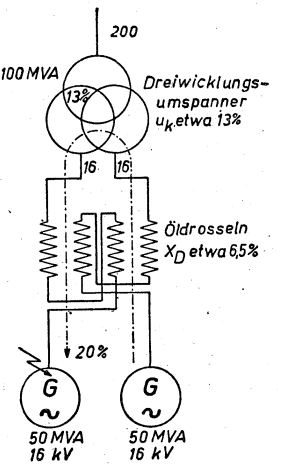


Bild 14. Dreiwicklungsumspanner als Kurzschlußschutz.

Diese Hochleistungssicherungen sind aus der Erkenntnis entstanden, daß die üblichen Sicherungen bei hohen Kurzschlußströmen nicht mehr in der Lage sind, den Lichtbogen einwandfrei zu unterbrechen. Die Folge ist ein explosionsartiges Auseinanderfliegen gekapselter Sicherungen und damit eine Zerstörung der Schaltanlage. Bei ungekapselten Sicherungen (offene Streifen) hat das Durchschmelzen bei hohem Kurzschlußstrom infolge der sich bildenden Metalldämpfe einen Phasenschluß zur Folge, der in seiner Wirkung noch abträglicher ist. Man schuf somit Sicherungen, deren Schmelzdrähte in einem explosionssicheren Isolierkörper, entweder aus Steatit oder aus Preßstoff mit Fasereinlage, eingeschlossen sind. Die bei hohem Kurzschlußstrom auftretenden Metalldämpfe sind nicht in der Lage, diesen Körper zu zerstören. Genau so wie die üblichen Sicherungspatronen, werden diese Hochleistungssicherungen in einer Normalausführung (N unverzögert), in einer kurzverzögerten Form (NK) und in einer kurzschlußselektiven Form, d. h. langverzögerten Form NM ausgeführt. Die letzte Form findet ihre haupt-



Der Umspanner hat: 1. etwa 13 % Reaktanz, wenn beide 50 000-kVA-Maschinen in Betrieb sind; 2. etwa 13 % Reaktanz, wenn eine 50 000-kVA-Maschine in Betrieb ist; 3. 20 % Reaktanz, wenn eine Maschine in den Kurzschluß der anderen Maschine arbeitet.

Bild 15. Schaltung von Stromerzeugern mit Dreiwicklungsumspanner und Öldrosseln.

sächliche Verwendung in Maschennetzen und vermaschten Netzen. Bild 17 zeigt die Patronen einmal mit Steatitkörper und einmal mit Isolierstoffkörper.

Nachfolgende Tafel zeigt den Abschaltstrom dieser Sicherungen bei den verschiedenen Spannungen und Stromarten; zum Vergleich sind die entsprechenden Angaben für Sicherungspatronen „Zede" und „Kt" und der „Tardo"-Sicherungen mit aufgeführt.

Ausschaltleistungen der AEG-Sicherungen für Niederspannung.

Ausschaltstrom bei ..... { Wechselstrom / Gleichstrom			220 V 220 V kA	380 V 440 V kA	500 V 500 V kA
Unverzögerte Sicherungspatrone „Zede"		bis 200 A	16	12	10
Kurzverzögerte Sicherungspatrone „Kt"		bis 200 A	30	25	20
Langverzögerte „Tardo"-Sicherung		bis 60 A	25	18	15
Hochleistungsnetzsicherungen („N" unverzögert, „NK" kurzverzögert, „NM" kurzschlußselektiv)	bei 50 mm ⌀ des Isolierkörpers	bis 200 A	45	40	35
		225 bis 350 A	30	25	20
	bei 60 mm ⌀ des Isolierkörpers	bis 200 A	55	50	45
		225 bis 350 A	40	35	30
		400 bis 600 A	35	30	25

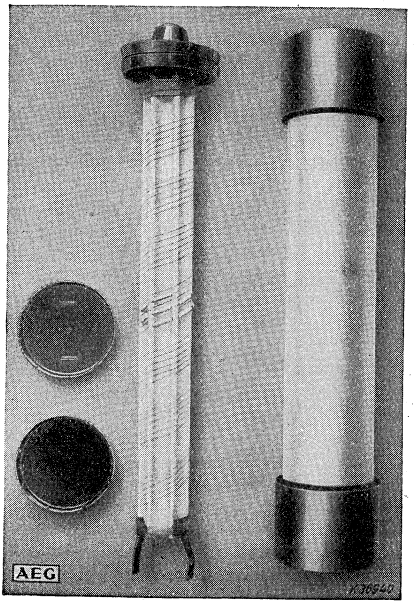
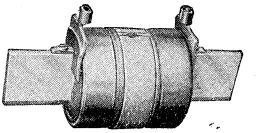
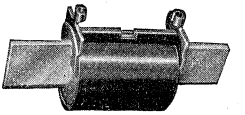


Bild 16.
Hochleistungssicherung für Hochspannung.



Mit Steatitkörper.



Mit Isolierstoffkörper.

Bild 17.
Hochleistungssicherungen für Niederspannung.

Auf Grund dieser Zusammenstellung kann man bei der Planung prüfen, ob die Patronen „Zede", „Kt" oder „Tardo"-Sicherungen noch ausreichen, um die möglichen Kurzschlußströme mit Sicherheit abzuschalten. Ist dieses nicht der Fall, so muß diesen Sicherungen eine Hochleistungssicherung vorgeschaltet werden, die dann die Abschaltung des Kurzschlusses übernimmt.

Hierbei ist noch zu bemerken, daß bei Installationsselbstschaltern (siehe Seite 394) keine größeren Sicherungen als 60 A Nennstrom vorgeschaltet werden dürfen.

Aufgabe der Planung ist es nun, für den jeweilig vorliegenden Fall genaue Untersuchungen darüber anzustellen, welche von den vorstehenden grundsätzlichen Überlegungen als wirtschaftlichste Lösung zur Anwendung zu bringen ist.

C. Berechnung der Kurzschlußströme.

(Auszüge aus den VDE 0670 und den AEG-Rechnungsgrößen für Hochspannungsanlagen.)

Für die angenäherte Berechnung von Kurzschlußströmen ist vom VDE in den „Regeln für Wechselstrom-Hochspannungsgeräte REH VDE 0670/1937" ein Verfahren entwickelt worden, das in erster Linie für Hochspannungsanlagen von 1000 V und darüber gedacht ist, jedoch mit geringen Einschränkungen auch für Anlagen kleinerer Spannung bis etwa 1000 V verwendet werden kann. Diese Einschränkungen beziehen sich vor allem darauf, daß sich gerade bei solchen Anlagen gewöhnlich günstigere Verhältnisse ergeben, als nach dem Rechnungsverfahren des VDE zu erwarten ist. Der Grund ist, daß die nicht berücksichtigten Rechnungsgrößen, wie Widerstand des Kurzschlußlichtbogens, Übergangswiderstände, Eigenwiderstände von Geräten, Widerstandszunahme durch die Erwärmung, bei niedrigeren Spannungen eine viel größere Rolle spielen als in Hochspannungsanlagen. Die errechneten Kurzschlußströme sind daher bei der Planung einer Anlage nicht als Mindest- sondern als Höchstbeanspruchung zugrunde zu legen, mit deren Auftreten nur in ganz außergewöhnlichen Fällen zu rechnen ist.

Die Vorbelastung eines Netzes braucht bei der angenäherten Berechnung der Stoßkurzschlußströme nicht berücksichtigt zu werden. Ferner sind Synchronmotoren stets, Asynchronmotoren nur in Abnehmeranlagen, in denen eine Belastung durch Motoren mit einer Einzelleistung von der Größenordnung der Leistung der speisenden Umspanner vorhanden ist, für die Berechnung der Stoßkurzschlußströme wie Stromerzeuger zu behandeln.

Für Kraftwerke mit mehreren unmittelbar gekuppelten Stromerzeugern wird ein Ersatzstromerzeuger in den Berechnungsgang eingeführt, dessen Nennleistung gleich der Summe der Leistungen der einzelnen Stromerzeuger ist. Das Stoßkurzschlußverhältnis p des Ersatzstromerzeugers wird aus den Teilwerten der Einzelstromerzeuger nach folgender Gleichung errechnet:

$$p = \frac{p_1 \cdot N_1 + p_2 \cdot N_2}{N_1 + N_2} \qquad (1)$$

wobei N_1, N_2 ... die Nennleistungen in kVA, p_1, p_2 ... die Stoßkurzschlußverhältnisse der einzelnen Stromerzeuger sind.

Beispiel 1. In einem Kraftwerk befinden sich zwei Turbogeneratoren mit 10 MVA und 20 MVA Nennleistung in Betrieb. Der 10-MVA-Turbogenerator hat eine Ständerstreuung von $= \varepsilon_{st}$ 12,5%, der 20-MVA-Turbogenerator eine solche von $\varepsilon_{st} = 15{,}4\%$.

Gesucht wird das Stoßkurzschlußverhältnis des Ersatzstromerzeugers.

Stoßkurzschlußverhältnis des Gen. I: $p_1 = \frac{100}{12{,}5} = 8\%$

„ „ „ Gen. II: $p_2 = \frac{100}{15{,}4} = 6{,}5\%$

Für den Ersatzstromerzeuger ist $p = \frac{8 \cdot 10 + 6{,}5 \cdot 20}{10 + 20} = 7\%$

Bei einem einfach gespeisten Kurzschluß sind die Widerstände der gesamten Kurzschlußbahn in die Grundgleichung für den Stoßkurzschluß-Wechselstrom I_{sw} einzusetzen. Diese lautet:

$$I_{sw} = \frac{1{,}1\ U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X^2 + R^2}} \qquad (2)$$

Hierin sind:
U = Betriebsspannung des Netzes,
R = Wirkwiderstand je Phase der gesamten Kurzschlußbahn (unter Vernachlässigung

des Stromerzeuger-Wirkwiderstandes),
X = Blindwiderstand je Phase der gesamten Kurzschlußbahn.

Der Blindwiderstand der Kurzschlußbahn besteht aus:
dem wirksamen Stoßblindwiderstand des Stromerzeugers,
den Streuwiderständen der Umspanner und Strombegrenzungs-Drosselspulen,
den Blindwiderständen der Leitungen.

Bei Hochspannungsanlagen ist der Blindwiderstand der Kurzschlußbahn in der Mehrzahl der Fälle wesentlich größer als der Wirkwiderstand und daher in erster Hinsicht maßgebend für die Größe des Kurzschlußstromes. Wirkwiderstände von der Größe

$$R \leq 0{,}5\,X$$

können vernachlässigt werden. Sämtliche Widerstände sind je Leiter einzusetzen und gegebenenfalls mit dem Quadrat der Übersetzungsverhältnisse der Umspanner auf die Betriebsspannung des Netzes umzurechnen.

Der Blindwiderstand der Stromerzeuger nimmt gegenüber den anderen eine Sonderstellung ein, da er nach Eintritt des Kurzschlusses ansteigt. Diese nach jedem plötzlichen Kurzschluß auftretenden elektromagnetischen Ausgleichsvorgänge dauern je nach der Bauart der einspeisenden Stromerzeuger und je nach der Lage und Art des Kurzschlusses 1 bis 3 s. Während dieser Zeit vollzieht sich der Abbau des ursprünglich vorhandenen magnetischen Hauptfeldes im Luftspalt der Maschinen und findet erst dann ein Ende, wenn sich ein neuer Gleichgewichtszustand zwischen der vom restlichen Hauptfeld in der Ständerwicklung induzierten Spannung und dem ohmschen und induktiven Spannungsabfall der gesamten Kurzschlußbahn herausgebildet hat.

Für die Berechnung des Stoßkurzschluß-Wechselstromes ist daher der Stoßblindwiderstand des Stromerzeugers maßgebend und in Ansatz zu bringen.

Der wirksame Stoßblindwiderstand des Stromerzeugers ergibt sich aus der Formel:

$$X_{s\ gen} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot p \cdot I_n} \qquad (3)$$

Dabei sind:

U_n = verkettete Stromerzeuger-Nennspannung in V,
I_n = Stromerzeuger-Nennstrom in A,
p = Stoßkurzschlußverhältnis des Stromerzeugers.

Unter Stoßkurzschlußverhältnis versteht man das Verhältnis des Stoßkurzschluß-Wechselstromes zum Nennstrom bei Klemmenkurzschluß des Stromerzeugers. Dies ist auch gleich dem Verhältnis der Nennspannung zur Stoßstreuspannung.

Der sich aus (2) ergebende Stoßkurzschluß-Wechselstrom ist für zwei- und dreipoligen Kurzschluß praktisch gleich groß und daher für beide gültig. Aus dem Stoßkurzschluß-Wechselstrom ergibt sich dann der größtmögliche Stoßkurzschlußstrom aus der Grundgleichung:

$$I_s = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{sw}. \qquad (4)$$

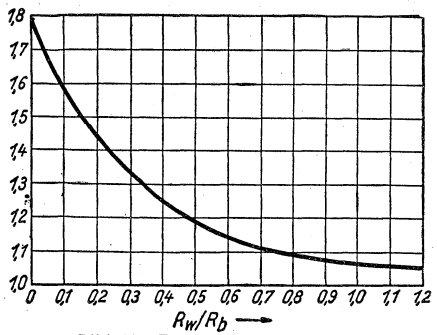


Bild 18. Ermittlung des Faktors k.

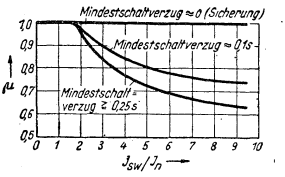


Bild 19.
Ermittlung des Faktors μ.

Der Eintritt eines Kurzschlusses bedeutet, wie bereits oben gesagt, eine plötzliche Zustandsänderung im Stromkreis, verbunden mit einem freien Strom, dem sogenannten Gleichstromglied „k", dessen Größe von dem Zeitpunkt des Schaltstoßes abhängt. Je nach der Dämpfung des Stromkreises klingt dieses Glied verschieden schnell ab; im allgemeinen ist es nach ¼ s bereits auf unbedeutende Werte abgesenkt. Solange das Gleichstromglied noch wirksam ist, verläuft der Kurzschlußstrom unsymmetrisch zur Nullinie, da sich das Gleichstromglied dem Kurzschluß-Wechselstrom überlagert. Der wirkliche Stoßkurzschlußstrom ist der Scheitelwert des Stoßkurzschluß-Wechselstromes plus dem überlagerten Gleichstromglied.

Für die Berechnung werden die ungünstigsten Verhältnisse zugrunde gelegt, nämlich die Annahme, daß sich nur Blindwiderstände in der Kurzschlußbahn befinden, und daß der Kurzschluß bei Nulldurchgang der Spannung eintritt. Wenn außer der Stromerzeugerwicklung keine weiteren Wirkwiderstände in der Kurzschlußbahn vorhanden sind, beträgt der größtmögliche Kurzschlußstrom etwa das $1{,}8 \cdot \sqrt{2}$fache des Stoßkurzschluß-Wechselstromes. Bei Anwesenheit weiterer ohmscher Widerstände ist statt des Faktors 1,8 der aus Bild 18 zu entnehmende Wert für k einzusetzen, der von dem Verhältnis — Wirkwiderstand: Blindwiderstand der Kurzschlußbahn abhängt. Der Wirkwiderstand des Stromerzeugers ist bereits in dem vorstehenden Faktor 1,8 enthalten und daher bei der Bestimmung des Verhältnisses nicht mit zu berücksichtigen.

Die Auswahl der Schaltgeräte wird neben dem für die mechanische Festigkeit maßgebenden Stoßkurzschlußstrom durch den Ausschaltstrom bei Kurzschluß nach der Formel

$$I_a = \mu \cdot I_{sw}. \qquad (5)$$

bestimmt. Die Bedeutung des Faktors μ ergibt sich aus nachstehendem: Die Kurzschlußabschaltung mit Schaltern geschieht bei Hochspannungsanlagen in der Regel mit einer gewissen Verzögerung, die nicht unter 0,1, meist aber sogar über 0,25 s liegt. Das Gleichstromglied klingt in dieser Zeit so weit ab, daß es bei der Bestimmung des Ausschaltstromes in der Regel nicht mehr berücksichtigt zu werden braucht. Ein Maß für das Abklingen des Wechselstromgliedes ist das Verhältnis des errechneten Stoßkurzschluß-Wechselstromes an der Kurzschlußstelle zu dem Nennstrom der darauf arbeitenden Stromquelle. Das den Vorschriften des VDE 0670/1937 entnommene Bild 19 zeigt die Abhängigkeit von dem ebengenannten Verhältnis; der Faktor μ gibt an, auf welchen Bruchteil der Stoßkurzschluß-Wechselstrom nach 0,1 und 0,25 s abklingt. Das Produkt aus Stoßkurzschluß-Wechselstrom und μ wird nach VDE 0670 „symmetrischer Ausschaltstrom" genannt. Diese Bezeichnung ist gewählt, um das Vernachlässigen des Gleichstromgliedes anzudeuten, das, wie schon früher erwähnt, bei 0,1 und 0,25 s im allgemeinen nicht mehr berücksichtigt zu werden braucht.

In der gleichen Weise wie der symmetrische Ausschaltstrom läßt sich nach den Linien (Bild 20) der dreipolige Dauerkurzschlußstrom aus der Gleichung

$$I_d = \mu_d \cdot I_{sw} \qquad (6)$$

ermitteln, und zwar bei Nennlasterregung und Leerlauferregung (Nachtbetrieb), wobei μ_d = Verhältnis des dreipoligen Dauerkurzschlußstromes zum Stoßkurzschluß-Wechselstrom ist. Die schraffierten Flächen kennzeichnen den bei den üblichen Maschinen auftretenden Streubereich in bezug auf die stark ausgezogene Normalwert-Linie. Der zweipolige Dauerkurzschlußstrom ist bei Klemmenkurzschluß wegen der geringeren Ankerrückwirkung annähernd 50% größer als der dreipolige.

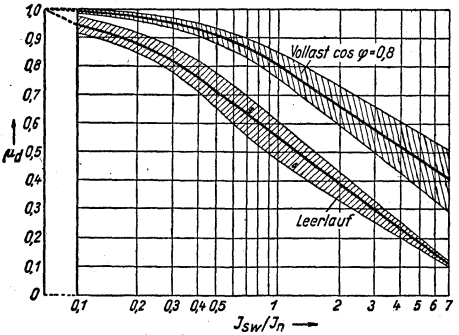


Bild 20. Dauerkurzschlußstrom.

Mit zunehmender Entfernung von den Stromerzeugerklemmen nähert er sich dem dreipoligen und wird schließlich um etwa 13% kleiner als dieser.

Mehrfach gespeiste Kurzschlüsse sind wie einfach gespeiste zu behandeln. Die Kurzschlußstelle teilt hierbei das Netz in mehrere einfach gespeiste Kurzschlüsse auf. Ist dies nicht der Fall, so wird folgendermaßen verfahren: an Stelle des Kurzschlusses wird die Ersatzspannung 1,1 U als einzige Spannungsquelle im Netz eingeführt. Die wirksamen Stoßblindwiderstände der Stromerzeuger werden in diesem Ersatzbild im Anschluß an die Netzwiderstände als Belastungen der Ersatzspannungsquelle angenommen. Man berechnet den Gesamtwiderstand dieses Ersatzbildes und erhält den Stoßkurzschluß-Wechselstrom nach Gleichung 2 (s. Seite 273).

Beispiel 2.

Im Kraftwerk nach Bild 21 sind zwei Stromerzeuger mit Nennleistungen von 20 und 35 MVA in Betrieb, die mit Umspannern von 22 MVA und 35 MVA in Einheit auf eine 30-kV-Sammelschiene arbeiten; außer den unmittelbaren 30-kV-Abnehmern liegen an dieser Sammelschiene zwei Umspanner mit Nennleistungen von 8 MVA mit $u_k = 6\%$ und 7 MVA mit $u_k = 6\%$, die gemeinsam eine 6-kV-Schiene speisen. Von dieser wiederum wird eine weitere 3-kV-Sammelschiene über einen Umspanner mit 3,5 MVA Nennleistung bei $u_k = 3{,}5\%$ mit Strom versorgt.

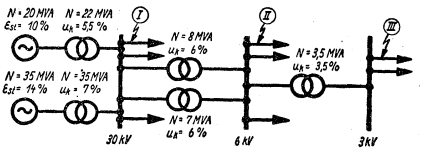


Bild 21. Kraftwerkschaltbild.

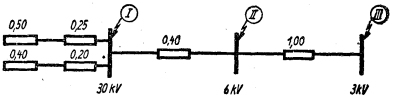


Bild 22. Ersatzschaltbild für Bild 21.

Gesucht werden die Stoßkurzschluß-Wechselströme sowie der höchste Stoßkurzschlußstrom und die erforderliche Ausschaltleistung der Leistungsschalter an den Punkten I, II und III.

Um den Stoßkurzschluß-Wechselstrom zu berechnen, ist zweckmäßig zunächst auf 10-kV-Basis*) das nebenstehende Ersatzschaltbild anzufertigen, in dem die Widerstände in der Kurzschlußbahn eingetragen werden, die sich aus dem Quotienten $\left(\frac{\varepsilon}{N}\right)$ bzw. $\left(\frac{u_k}{N}\right)$ ergeben, worin ε bzw. u_k = prozentuale Kurzschlußspannung oder prozentualer Spannungsfall bei Nennstrom, N = Nenn- oder Nenndurchgangsleistung in MVA ist. Die beiden Umspanner 30/6 kV können, da sie gleiche Kurzschlußspannungen haben, zu einem Ersatzumspanner von $u_k = 6\%$ und N = 15 MVA zusammengefaßt werden. Somit entsteht das erwähnte Ersatzschaltbild (Bild 22).

Aus den Teilwerten $\frac{\varepsilon}{N}$ bzw. $\frac{u_k}{N}$ des Kraftwerkes ergibt sich der resultierende Widerstand zu

$$X = \frac{(0{,}50 + 0{,}25) \cdot (0{,}40 + 0{,}20)}{(0{,}50 + 0{,}25) + (0{,}40 + 0{,}20)} = 0{,}333$$

*) Die 10-kV-Basis wird aus folgender Überlegung gebildet. Allgemein ist bei Stromerzeugern der Blindwiderstand je Phase

$$X = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot p \cdot I_n} = \frac{U^2_n}{p \cdot N} = \frac{\varepsilon_{st} \cdot U^2_n}{N} \cdot 10^{-2}$$

bei Un = 10 kV vereinfacht sich die Formel auf

$$X = \frac{\varepsilon_{st}}{N} \text{ Ohm/Phase.}$$

Das gleiche gilt für die Blindwiderstände der Umspanner, Drosselspulen und Leitungen.

Der Stoßkurzschlußstrom an den einzelnen Kurzschlußpunkten beträgt dann:

$$\text{Kurzschlußstelle I: } I_{sw\,10} = \frac{1{,}1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 0{,}333} = 19{,}2 \text{ kA}$$

$$\text{„ II: } I_{sw\,10} = \frac{1{,}1 \cdot 10}{\sqrt{3}\,(0{,}333 + 0{,}4)} = 8{,}7 \text{ kA}$$

$$\text{„ III: } I_{sw\,10} = \frac{1{,}1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot (0{,}333 + 0{,}4 + 1{,}0)} = 3{,}7 \text{ kA}$$

oder umgerechnet auf die Betriebsspannung

$$\text{Kurzschlußstelle I: } I_{sw\,30} = 19{,}2 \cdot \frac{10}{30} = 6{,}4 \text{ kA}$$

$$\text{„ II: } I_{sw\,6} = 8{,}7 \cdot \frac{10}{6} = 14{,}5 \text{ kA}$$

$$\text{„ III: } I_{sw\,3} = 3{,}7 \cdot \frac{10}{3} = 12{,}2 \text{ kA}$$

Der höchste Stoßkurzschlußstrom beträgt dann unter Berücksichtigung des Stoßfaktors k gemäß der vorstehenden Tafel

$$\text{Kurzschlußstelle I: } I_{s\,30} = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6{,}4 = 16{,}3 \text{ kA}$$

$$\text{„ II: } I_{s\,6} = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot 14{,}5 = 37{,}0 \text{ kA}$$

$$\text{„ III: } I_{s\,3} = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot 12{,}2 = 31{,}1 \text{ kA}$$

Der Faktor k = Verhältnis des Stoßkurzschlußstromes: Scheitelwert des Stoßkurzschlußwechselstromes ist mit 1,8 in voller Höhe einzusetzen, da der Wirkwiderstand R nicht berücksichtigt wurde, weil kleiner als 0,5 X.

Die Ausschaltleistung an den drei Kurzschlußstellen errechnet sich wie folgt, unter der Annahme eines Mindestschaltverzuges $t \geq 0{,}25$ s.

Symmetrischer Ausschaltstrom: $I_a = \mu \cdot I_{sw}$

$$\text{Kurzschlußstelle I: } I_n = \frac{(20 + 35)}{\sqrt{3} \cdot 30} = 1{,}06 \text{ kA}, \quad I_{sw\,30} = 6{,}4 \text{ kA}$$

$$\frac{I_{sw}}{I_n} = \frac{6{,}4}{1{,}06} = 6, \ \mu \text{ aus Bild } 19 = 0{,}68$$

$$I_a = 0{,}68 \cdot 6{,}4 = 4{,}35 \text{ kA}$$

demnach Ausschaltleistung $N_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_a = \sqrt{3} \cdot 30 \cdot 4{,}35 = \underline{\underline{226 \text{ MVA}}}$

$$\text{Kurzschlußstelle II: } I_n = \frac{(20 + 35)}{\sqrt{3} \cdot 6} = 5{,}3 \text{ kA}, \quad I_{sw\,6} = 14{,}5 \text{ kA}$$

$$\frac{I_{sw}}{I_n} = \frac{14{,}5}{5{,}3} = 2{,}74, \ \mu \text{ aus Bild } 19 = 0{,}86$$

$$I_a = 0{,}86 \cdot 14{,}5 = 12{,}5 \text{ kA}$$

$$N_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_a = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 12{,}5 = \underline{\underline{130 \text{ MVA}}}$$

$$\text{Kurzschlußstelle III: } I_n = \frac{20 + 35}{\sqrt{3} \cdot 3} = 10{,}6 \text{ kA} \quad I_{sw\,3} = 12{,}2 \text{ kA}$$

$$\frac{I_{sw}}{I_n} = \frac{12{,}2}{10{,}6} = 1{,}15, \ \mu \text{ aus Bild } 19 = 1$$

$$I_a = 12{,}2 \text{ kA}$$

$$N_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_a = \sqrt{3} \cdot 3 \cdot 12{,}2 = \underline{\underline{63{,}5 \text{ MVA}}}$$

Infolge der Vernachlässigung der Wirkwiderstände ist mit etwas geringeren Strömen und Schaltleistungen im Netz zu rechnen. Falls die Stromerzeuger mit Spannungsschnellreglern versehen sind, ist der Dauerkurzschlußstrom um etwa 30% höher anzusetzen. Dies wirkt sich besonders in der thermischen Belastung der Anlagenteile aus.

D. Kurzschlußwirkungen.

Die Stoß- und Dauerkurzschlußströme haben, wie schon unter „A" angeführt, in erster Linie mechanische und thermische Wirkungen zur Folge, denen sämtliche Anlagenteile gewachsen sein müssen.

Für die mechanische Beanspruchung der Anlagenteile ist nur der zweipolige Kurzschluß zugrunde zu legen, da hier die dynamischen Kräfte wesentlich größer sind als beim dreipoligen. Beim zweipoligen Kurzschluß sind in zwei benachbarten Leitern die Ströme gleich groß und phasengleich, während bei gleichen Verhältnissen beim dreipoligen Kurzschluß die Ströme infolge der Phasenverschiebung von 120° verschieden groß sind, und zwar stets kleiner als beim zweipoligen Kurzschluß. Dementsprechend sind die jeweiligen Kraftwirkungen.

Zur Ermittlung der unter Einwirkung des Stoßkurzschlußstromes (Scheitelwert) wirksamen Kräfte zwischen zwei benachbarten Leitern bedient man sich der Formel:

$$P = 2{,}04 \cdot \frac{l}{d} \cdot I_s^2 \cdot 10^{-8} \qquad (7)$$

darin sind:

P = Anziehungs- bzw. Abstoßkraft in kg,
I_s = Amplitude des Stoßkurzschlußstromes in A,
l = Leiterlänge im parallelen Abschnitt (Spannweite) in cm,
d = Leiterabstand in cm.

Setzt man l = 100 cm in dieser Formel, so vereinfacht sich diese auf die Form

$$P = 2{,}04 \cdot \frac{I_s^2}{d} \cdot 10^{-6} \qquad (8)$$

Die Kurventafel Bild 23 zeigt die Kraft P in kg/m als Funktion des Leiterabstandes für verschiedene Kurzschlußstromstärken I_s, die auf graphischem Wege zu schnellem Ergebnis führt. Bei Drehstromleitungen mit ungleichen Abständen zwischen den drei Phasen ist immer der kleinste Abstand in die Berechnung einzuführen.

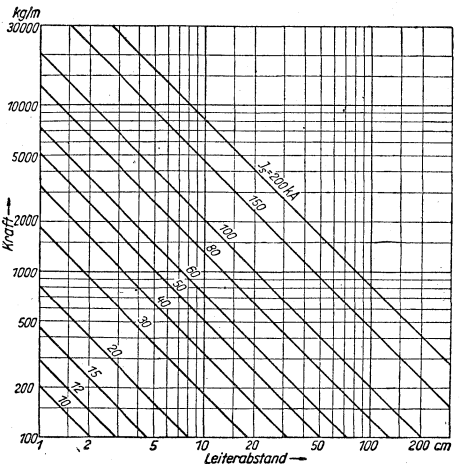


Bild 23. Kraftwirkung zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern.

Bei der Auswertung des Ergebnisses ist bei Schienenanordnungen auf Stützern zu beachten, daß die Umbruchfestigkeit der Stützer gemäß VDE am Isolatorkopf gemessen ist. Bei stehenden Schienen größerer Höhe tritt daher am Isolatorkopf gemäß dem aus der Kraftwir-

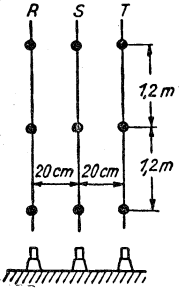


Bild 24. Sammelschienenanordnung.

kung zwischen den Schienen errechneten P entsprechend dem Unterschied der Hebelarme ein Vielfaches von P auf.

Die Nachprüfung der mechanischen Festigkeit der Schienen selbst erfolgt nach den bekannten Regeln der allgemeinen Festigkeitslehre. Eine einfache Überlegung zeigt, daß hochkant zueinander angeordnete Schienen wegen des wesentlich größeren Widerstandsmomentes in Richtung der Kraft P entsprechend größeren Kurzschlußströmen gewachsen sind.

Beispiel 3 für die Benutzung der Formel 8:

Gegeben: Die Kurzschlußstelle II des Beispiels 2 und vorstehende Sammelschienenanordnung (Bild 24).

Gesucht: Beanspruchung der Stützer bei Kurzschluß

$$I_{s6} = 37 \text{ kA}$$

$$P = 2{,}04 \cdot \frac{I_s^2 \cdot}{d} \cdot 10^{-6} = \frac{2{,}04 \cdot 37^2}{20} = 140 \text{ kg/m}$$

Da der Abstand von Stützer zu Stützer 1,2 m beträgt, wird jeder Stützer mit $1{,}2 \cdot 140 = 168$ kg belastet.

Weiterhin ist bei Schienen- und Leiteranordnungen allgemein darauf zu sehen, daß mechanische Resonanzen vermieden werden, da diese eine wesentliche zusätzliche Beanspruchung der Leiter zur Folge haben. Mechanische Resonanz liegt vor, wenn die mechanische Schwingungszahl der Leiter und die elektrische Schwingungszahl der Anlage annähernd gleich sind. Es ist also zu vermeiden, daß die Eigenschwingungszahl der Leiter in der Nähe der einfachen oder doppelten Netzfrequenz liegt. Zur Prüfung bedient man sich der Formel

$$n = 112 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot (J)}{g \cdot l^4}} \qquad (9)$$

Darin sind:

E = Elastizitätsmodul des Schienenwerkstoffes in kg/cm²,
(J) = Trägheitsmoment des Schienenquerschnittes in cm⁴,
g = Gewicht der Schiene in kg/cm,
l = freie Länge der eingespannten Schiene in cm.

Der Elastizitätsmodul beträgt

für Kupfer $E = 1{,}25 \cdot 10^6$ kg/cm²,
für Aluminium $E = 0{,}72 \cdot 10^6$ kg/cm²,
für Magnesium $E = 0{,}45 \cdot 10^6$ kg/cm².

Beispiel 4 für die Benutzung der Formel 9:

Gegeben: Sammelschienenanordnung nach Bild 24;
Schienenquerschnitt 100×10 mm Cu.

Gesucht: Eigenschwingungszahl n.

Das Trägheitsmoment der Schiene wird ermittelt aus der Beziehung

$$(J) = \frac{b^3 \cdot h}{12} = \frac{1 \cdot 10}{12} = 0{,}833 \text{ cm}^4$$

Elastizitätsmodul für Cu ..... $E = 1{,}25 \cdot 10^6$ kg/cm²
Gewicht für Cu ..... $g = 0{,}09$ kg/cm
Länge ..... $l = 120$ cm

daraus ergibt sich

$$n = 112 \sqrt{\frac{1{,}25 \cdot 10^6 \cdot 0{,}833}{0{,}09 \cdot 1{,}2^4 \cdot 10^8}}$$

$$= 112 \sqrt{0{,}0559}$$

$$= 26{,}5$$

Bei der thermischen Beanspruchung der elektrischen Apparate und Leiter spielt neben der Höhe des Kurzschlußstromes auch seine Zeitdauer eine wesentliche Rolle. Die Bestimmung der thermischen Sicherheit erfolgt gewöhnlich auf Grund des Dauerkurzschlußstromes. Übersteigt der Stoßkurzschluß-Wechselstrom jedoch wesentlich den Dauerkurzschlußstrom, so empfiehlt es sich, die zusätzliche Erwärmung durch einen Zuschlag zur Zeit zu berücksichtigen. Die Erwärmung eines vom Strom durchflossenen Leiters wächst bekanntlich verhältnisgleich mit der Zeit und mit dem Quadrat der Stromstärke nach folgender Gleichung:

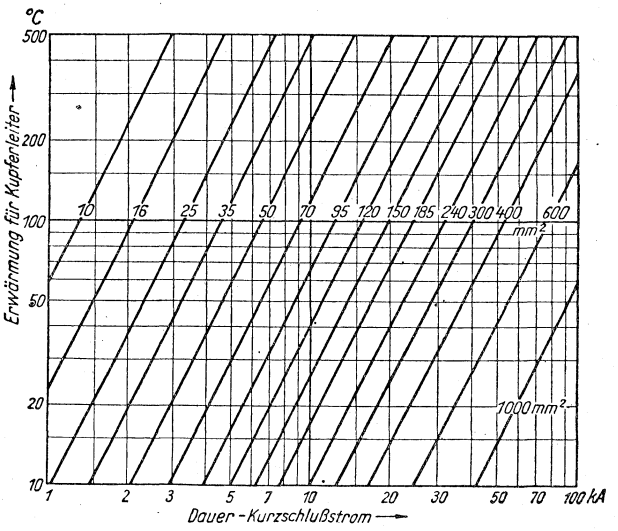


Bild 25.
Erwärmung von Cu-Leitern durch den Dauerkurzschlußstrom.

$$\vartheta = \frac{k}{q^2} \cdot I_d^2 (t+\Delta t) \qquad (10)$$

Hierin sind:

ϑ = Erwärmung in °C,
q = Leiterquerschnitt in qmm,
k = 0,0058 für Cu,
= 0,0135 für Al,
= 0,0263 für Mg,
I_d = Dauerkurzschlußstrom in A,
I_{sw} = Stoßkurzschluß-Wechselstrom in A,
t = Zeit vom Eintritt des Kurzschlusses bis zur Abschaltung in s,
$\Delta t = \left(\frac{I_{sw}}{I_d}\right)^2 \cdot T$,
T = Zeitkonstante der Maschinen:

0,3—0,1 s bei 3polig. Kurzschluß } abnehmend mit zunehmender Kurz-
0,6—0,2 s bei 2polig. Kurzschluß } schlußentfernung.

Wegen der kurzen Zeitdauer vom Eintritt bis zur Abschaltung eines Kurzschlusses kann bei der Berechnung die während dieser Zeit vom Leiter abgeführte Wärme vernachlässigt werden.

Bild 25 zeigt in graphischer Form die Erwärmung von Kupfer-Rundleitern durch den Dauerstrom nach 1 s. Bei längerer Dauer des Kurzschlußstromes als 1 s ist die abgelesene Temperatur mit der betreffenden Zeit in s zu multiplizieren. Bei Aluminiumleitern sind die abgelesenen Temperaturen mit dem Faktor 2,3, bei Magnesiumleitern mit dem Faktor 5,2 zu multiplizieren. Für Flachschienen gelten die Angaben nur näherungsweise.

Zugelassen sind folgende Übertemperaturen im Kurzschlußfall:
300° C bei blanken Leitern
150° C bei Kabeln und ähnlichen Leitern,
190° C bei Leitern in Meßwandlern.

Beispiel 5 für die Benutzung der Formel 10:

Gegeben: Kurzschlußstelle II des Beispiels 2 und Auslösezeit = 2 s

$$I_{sw6} = 14{,}5 \text{ kA}.$$

Gesucht: Erwärmung eines Cu-Kabels, 70 mm², bei dreipoligem Kurzschluß.

Dauerkurzschlußstrom $I_d = \mu_d \cdot I_{sw}$

$\frac{I_{sw6}}{I_n} = \frac{14{,}5}{5{,}3} = 2{,}74$, aus Bild 20 bei Vollast der Generatoren und $\cos\varphi = 0{,}8 : \mu_d = 0{,}6$

$$I_d = 0{,}6 \cdot I_{sw} = 8{,}7 \text{ kA}.$$

Aus Bild 25 für 70 mm² Cu und $I_d = 8{,}7$ kA, Erwärmung nach 1 s 90° C ohne Berücksichtigung von I_{sw}

$$\triangle t = \left(\frac{I_{sw}}{I_d}\right)^2 \cdot T = \left(\frac{14{,}5}{8{,}7}\right)^2 \cdot 0{,}2 = 0{,}55 \text{ Sekunden}.$$

Gesamte Erwärmung 90 (2+0,55) = 230° C, also unzulässig, da max. 150° C zulässig. Mindestquerschnitt muß auf 95 mm² festgesetzt werden,

für 95 mm² = Cu und $I_d = 8{,}7$ kA ist die Erwärmung nach 1 s 50° C ohne I_{sw}, Gesamterwärmung 50 (2 + 0,55) = 128° C.

LEITUNGSNETZE UND LEITUNGEN

I. Bemessung der Leitungen.

Allgemeines.

Bei der Planung einer Leitungsanlage ist eine Reihe von Forderungen zu erfüllen. Zunächst sind die Leitungen so zu bemessen, daß sie die den vorliegenden Betriebsverhältnissen entsprechende genügende **mechanische Fertigkeit** besitzen. Ferner ist der Querschnitt der Leitung so zu wählen, daß durch die Strombelastung keine unzulässige **Erwärmung** eintritt. Für beides — Festigkeit und zulässige Strombelastung — sind die Vorschriften des VDE maßgebend.

Bei der Bestimmung des Leitungsquerschnittes sind ferner der **Spannungsabfall** und der **Leistungsverlust** in der Leitung zu berücksichtigen, wofür Vorschriften nicht bestehen, die vielmehr von den betrieblichen Verhältnissen abhängen.

Die Größe des Spannungsabfalles ist zunächst eine technische Frage, da derselbe nicht so groß sein darf, daß das richtige Arbeiten des Stromverbrauchers an der Stromentnahmestelle beeinträchtigt wird. Wirtschaftliche Gesichtspunkte sind insofern maßgebend, als bei gegebener Stromstärke ein geringerer Spannungsabfall eine stärkere und teuere Leitung erfordert. Dagegen ist der Leistungsverlust insofern eine rein wirtschaftliche Frage, als neben der Höhe der Anlagekosten der Strompreis maßgebend ist. Bei niedrigem Strompreis wird man einen höheren Verlust in Kauf nehmen, also an den Anlagekosten der Leitungen sparen können.

Da beides, Spannungsabfall und Leistungsverlust, von der Stromstärke abhängen, so hängt die Wahl der Spannung mit der Frage nach dem Leitungsquerschnitt eng zusammen. Führt die angenommene Spannung zu übergroßen Querschnitten, so muß man besonders bei der Übertragung großer Leistungen auf größere Entfernung zu höheren Spannungen greifen. Beim Vergleich der Anlagekosten ist aber zu berücksichtigen, daß beim Übergang auf Hochspannung sich die Gesamtanlage durch den Aufwand an besserer Isolierung der Leitungen, Verwendung von geeigneten Geräten und durch die gegebenenfalls nötig werdenden Einrichtungen für die Umspannung erhöhen.

Leitungsnetze

Werden durch eine Leitungsanlage mehrere Stromverbraucher oder Gruppen von solchen mit Strom versorgt, so spricht man von einem Leitungsnetz. Bei der Auswahl und Bemessung von Leitungsnetzen der verschiedenen Art sind folgende Gesichtspunkte maßgebend:

1. Die Betriebssicherheit, worunter man die Sicherheit versteht, mit der die Versorgung der einzelnen Stromverbraucher auch bei Störungen in einzelnen Netzteilen gewährleistet ist.
2. Die Möglichkeit, in der Anlage entstehende Isolationsfehler oder sonstige Störungen schnell und sicher zu finden und leicht beheben zu können.
3. Preis und Wirtschaftlichkeit.

Die einfachste Netzform ist das Strahlennetz, das dadurch gekennzeichnet ist, daß von der Stromquelle aus ein Leitungsstrang oder auch mehrere zu Verteilungen führen, von diesen Hauptverteilungen in weitere Leitungsstränge für kleinere Verteilungen oder unmittelbar für die Stromverbraucher aufgeteilt werden. Dieses Netzgebilde ist einseitig gespeist; man bezeichnet es daher auch als offenes Netz. Die Berechnung des Leitungsquerschnittes gestaltet sich einfach (Beispiele s. Seite 298). Im Falle einer Störung ist die Fehlerquelle leicht zu finden, da sie stets in der Leitung hinter der unterbrochenen Sicherung oder dem unterbrochenen Überlastungsschalter liegt. Der Nachteil des Strahlennetzes ist, daß sämtliche Stromverbraucher und Verteilungen hinter der Störungsstelle abgeschaltet werden. Im Störungsfalle kann also ein erheblicher Teil des ganzen Betriebes stillgelegt werden, wenn ein Hauptteil des Netzes ausfällt. Die Betriebssicherheit ist somit verhältnismäßig gering.

Größere Betriebssicherheit ergeben die geschlossenen Netze, die in der Regel mehrfach eingespeist werden. In diesen Netzen ist jeder Punkt nach zwei Seiten angeschlossen, würde also bei einer Störung von der anderen Zuleitung versorgt werden, wenn die eine ausfällt.

Das Gemeinsame aller dieser Netze ist, daß von einer Stromquelle, d. h. dem Kraftwerk oder einer Umspannerstelle aus eine Leitung zu der zweiten Stromquelle geführt wird, die unterwegs durch die verschiedenen Verteilungen durchgeschleift wird. Je nach der Anordnung der Stromquellen, die das Netz speisen, spricht man von einem Ringnetz, wenn die Leitung von der einen Stromquelle zur anderen läuft; von einem Polygonnetz, wenn die Leitungen von der einen zur anderen Stromquelle geführt ein Vieleck bilden, in dessen Eckpunkten sich die Stromquellen befinden; von einem Sternnetz, wenn sich die von den Stromquellen ausgehenden Leitungen in einem Punkte vereinigen. Werden diese Leitungsstränge durch Ausgleichsleitungen miteinander verbunden, so nennt man diese Netze vermascht, und die einzelnen Glieder der Stränge werden als Maschen bezeichnet.

Das wesentliche Merkmal aller dieser Netze ist eine wesentlich höhere Betriebssicherheit. Die Anschaffungskosten sind nicht viel höher als beim Strahlennetz, oft sogar, wie beim Sternnetz, niedriger.

Eine besondere Art der mehrfach eingespeisten Netze ist das Maschennetz, bei dem eine ganze Reihe von Längs- und Querleitungen sich kreuzen. Diese Kreuzungspunkte, Knotenpunkte genannt, erhalten Sicherungen für jede der abgehenden Leitungen, die so bemessen sind, daß bei einem Kurzschluß nur die nächsten Sicherungen zum Abtrennen kommen. Das Maschennetz ist das betriebssicherste der erwähnten Netzgebilde. Es ist besonders in Werkstätten am Platze, wo z. B. Fertigung am laufenden Band erfolgt und das Ausfallen einzelner Zweige eine Störung der gesamten Fertigung zur Folge haben könnte. Sein Hauptanwendungsgebiet sind daher große Industrieanlagen, ferner auch Verwaltungsgebäude, Warenhäuser und ähnliche Bauten. Das Maschennetz bedarf einer besonders vorsichtigen Planung und vor allen Dingen einer genauen Feststellung der Höhe der im Kurzschlußfalle auftretenden Ströme.

Es kann in der Anschaffung billiger, aber auch teurer sein als das Strahlennetz Dem höheren Preis steht dann allerdings als Vorzug die außerordentlich hohe Betriebssicherheit gegenüber.

Für besonders große und umfangreiche Betriebsanlagen sind noch verschiedene andere verwickeltere Netzgebilde am Platze, die jedoch von Fall zu Fall zu entwerfen sind.

Alle Hochleistungsnetze, d. h. Netze mit Anschluß an Umspanner über 400 kVA bedürfen einer gründlichen Nachprüfung auf Kurzschlußleistung, da anderenfalls zu befürchten wäre, daß im Kurzschlußfalle noch weitere Leitungszweige als die beschädigten ausfallen könnten, wodurch der Störungsfehler nicht mehr örtlich begrenzt bliebe. (S. Abschnitt „Kurzschlußsicherheit in Industrieanlagen“, S. 263, „Über Rückleistungsauslösung bei Maschennetzschaltern“ s. S. 404)

Ortsnetze

Der Bau von Ortsnetzen für Niederspannung setzt eine genaue Planung voraus Kenntnis der zu erwartenden Belastung und ihre Verteilung ist die erste Voraussetzung dazu. Die tatsächlichen Belastungwerte werden ungefähr richtig getroffen, wenn man vom Anschlußwert der eingebauten Lampen 50 v. H. und der eingebauten Haushaltgeräte und Elektroherde 70 v. H. ansetzt. Die Geräte, die nur nachts gebraucht werden, können in der Regel unberücksichtigt bleiben. Motoren müssen entsprechend ihrer Belastungshöhe und ihren Benutzungszeiten berücksichtigt werden. Daraus ergeben sich die notwendigen Leitungsquerschnitte. Es wird dann ein Leitungsplan aufgestellt, in den auch die Belastungswerte eingetragen werden. Bei Berechnung der Leitungsquerschnitte sind unter den allgemeingültigen Vorschriften des VDE besonders die Leitsätze für Schutzmaßnahmen 0140/1932 zu beachten, ferner die von dem stromliefernden Werk zugelassenen Spannungsverluste.

Bemessung des Leitungsquerschnittes auf mechanische Festigkeit.

Maßgebend hierfür sind die Vorschriften des VDE 0100/X. 38, welche die für den betreffenden Verwendungszweck zulässigen Mindestquerschnitte enthalten und die in nachstehender Tafel 1 zusammengestellt sind. Für Freileitungen sind außerdem die Vorschriften VDE 0210/X. 38 maßgebend.

Tafel 1. Mindestquerschnitte

Art der Leitungen	Mindest-querschnitt mm²
Leitungen an und in Beleuchtungskörpern ..... Cu	0,75
Pendelschnüre, runde Zimmerschnüre, leichte und mittlere Gummischlauchleitungen ..... Cu	0,75
Andere ortsveränderliche Leitungen ..... Cu	1
Festverlegte isolierte Leitungen und festverlegte umhüllte Leitungen sowie Bleikabel ..... Cu	1,5
Al	2,5
Desgl. in Ausnahmefällen (siehe obige Vorschriften § 20/4) ..... Cu	1
Festverlegte isolierte Leitungen in Gebäuden und im Freien, bei denen der Abstand der Befestigungspunkte mehr als 1 m beträgt ..... Cu	4
Blanke Leitungen bei Verlegung in Rohr ..... Cu	1,5
Blanke Leitungen in Gebäuden und im Freien ..... Cu	4
Freileitungen für Spannungen unter 1000 V mit Spannweiten bis zu 35 m ..... Cu	6
Al-Seil	16
Freileitungen in allen anderen Fällen ..... Cu	10
Stahl-Al	16
Al	25

Bemessung der Leitungen auf Erwärmung.

Isolierte Leitungen und Schnüre dürfen mit den in nachstehender Tafel verzeichneten Stromstärken dauernd belastet werden. Die Stromstärke, die eine Leitung durchfließt, ergibt sich aus dem Verbrauchsstrom der betreffenden Stromverbraucher. Ist der Verbrauchsstrom nicht bekannt, sondern nur der Wattverbrauch, so kann die Stromstärke an Hand der Tafel im Anhang oder mit Hilfe der folgenden Rechentafeln (S. 288) ermittelt werden. Die Anwendung dieser Tafeln zeigt folgendes Beispiel:

Für die Leistung von 37 kW soll bei 380 V Drehstrom und $\cos \varphi = 0{,}65$ die Stromstärke ermittelt werden.

Auf der Tafel Seite 288 geht man von der Einteilung für Drehstrom-kW senkrecht nach oben bis zur Linie 0,65 und dann waagerecht bis zur Linie 380 V, von hier senkrecht nach unten und erhält eine Stromstärke von 87 A und einen Querschnitt von 35 mm² für den Kupfer- oder von 50 mm² für den Aluminiumleiter. In derselben Weise findet man auf der Tafel Seite 289 für die Leistung von 260 kW bis $\cos \varphi = 0{,}8$ und 6 kV eine Stromstärke von 31,3 A.

Erdkabel. Aus der Tafel 2a sind die höchsten, dauernd zulässigen Stromstärken für im Erdboden verlegte Kabel zu entnehmen, sowie bei Verlegung dieser Kabel in Luft oder in Kanälen.

Blanke Leitungen bis 50 mm², die dauernd belastet sind, können nach den Angaben in Tafel 2 belastet werden. Auf blanke Leitungen über 50 mm² sowie auf Fahr- und Freileitungen, ferner für isolierte Leitungen für aussetzende Betriebe finden die Bestimmungen der Tafel 2 keine Anwendung.

Solche Leitungen sind in jedem Falle so zu bemessen, daß sie durch den stärksten normal vorkommenden Betriebsstrom keine für den Betrieb oder die Umgebung gefährliche Temperatur annehmen.

Tafel 2. Zulässige Belastung in A für gummiisolierte Leitungen mit Cu- und Al-Leitern

(nach VDE 0250 U/IX 38 u. 0250 K/IX 40)

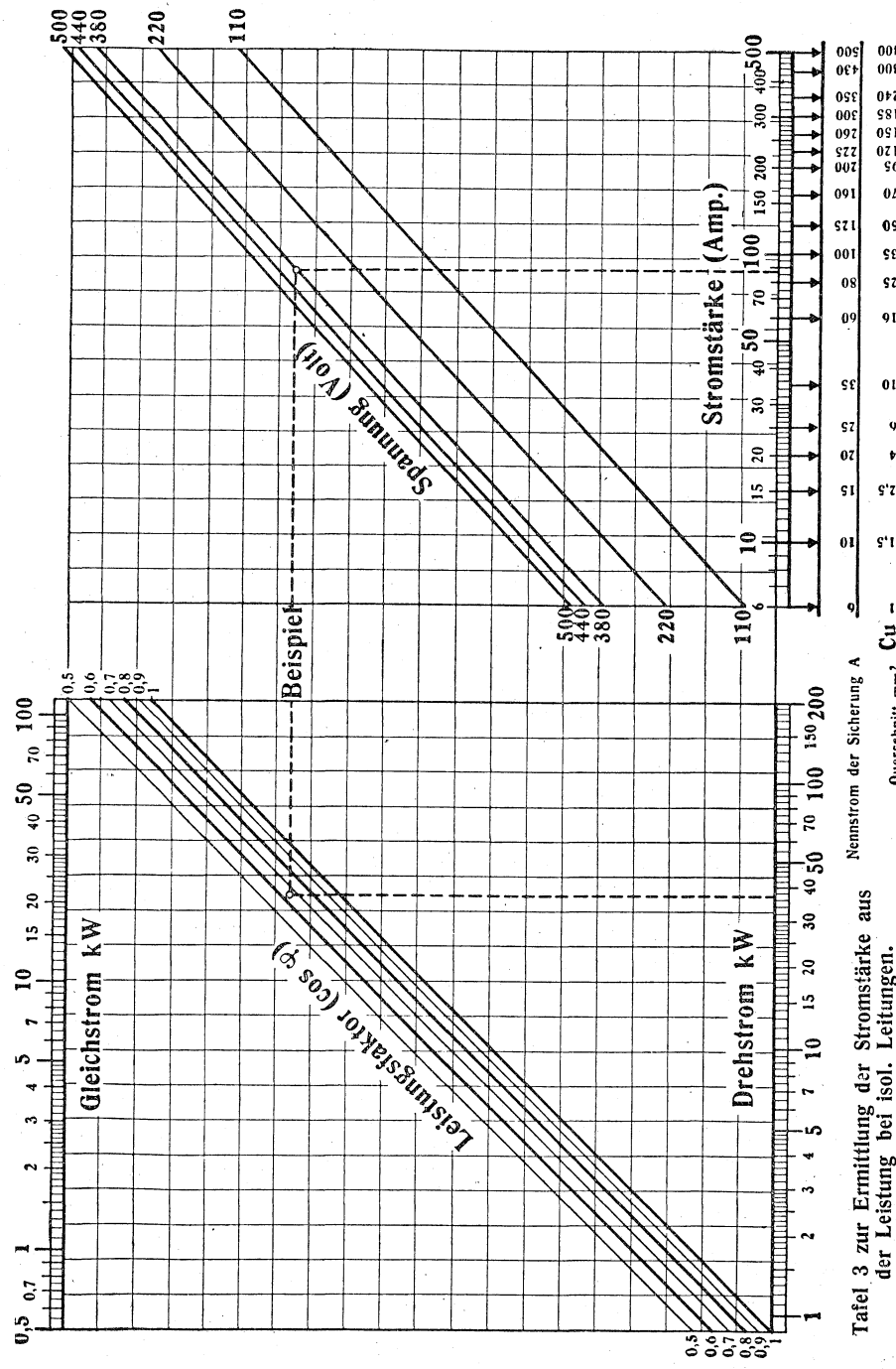
Nennquerschnitt des Leiters mm²	Bei fester Verlegung in Rohr: höchste dauernd zulässige Stromstärke für jeden Leiter A		Bei fester Verlegung in Rohr: Nennstromstärke für entsprechende Schmelzsicherung A		Bei fester Verlegung in Luft: höchste dauernd zulässige Stromstärke für jeden Leiter A		Bei fester Verlegung in Luft: Nennstromstärke für entsprechende Schmelzsicherung A		Für bewegliche Leitungen: höchste dauernd zulässige Stromstärke für jeden Leiter A	Für bewegliche Leitungen: Nennstromstärke für entsprechende Schmelzsicherung A
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Cu
0,75	—	—	—	—	—	—	—	—	10	6
1	12	—	6	—	—	—	—	—	12	6
1,5	16	12	10	6	—	—	—	—	16	10
2,5	21	17	15	10	—	—	—	—	27	20
4	27	22	20	15	—	—	—	—	35	25
6	35	28	25	20	—	—	—	—	48	35
10	48	38	35	25	—	—	—	—	66	60
16	66	53	60	35	—	—	—	—	90	80
25	90	72	80	60	—	—	—	—	110	100
35	110	90	100	80	—	—	—	—	140	125
50	140	110	125	100	—	—	—	—	175	160
70	175	140	160	125	230	185	200	160	215	200
95	215	175	200	160	290	230	260	200	260	225
120	255	205	225	200	350	280	300	260	305	260
150	295	235	260	225	410	330	350	300	350	300
185	340	270	300	260	480	385	430	350	400	350
240	400	320	350	300	570	455	500	430	480	430
300	470	375	430	350	660	530	600	500	570	500
400	570	455	500	430	790	630	700	600	—	—
500	660	530	600	500	900	720	800	700	—	—

Tafel 2a. Höchste, dauernd zulässige Stromstärke in A für im Erdboden verlegte Kabel.*

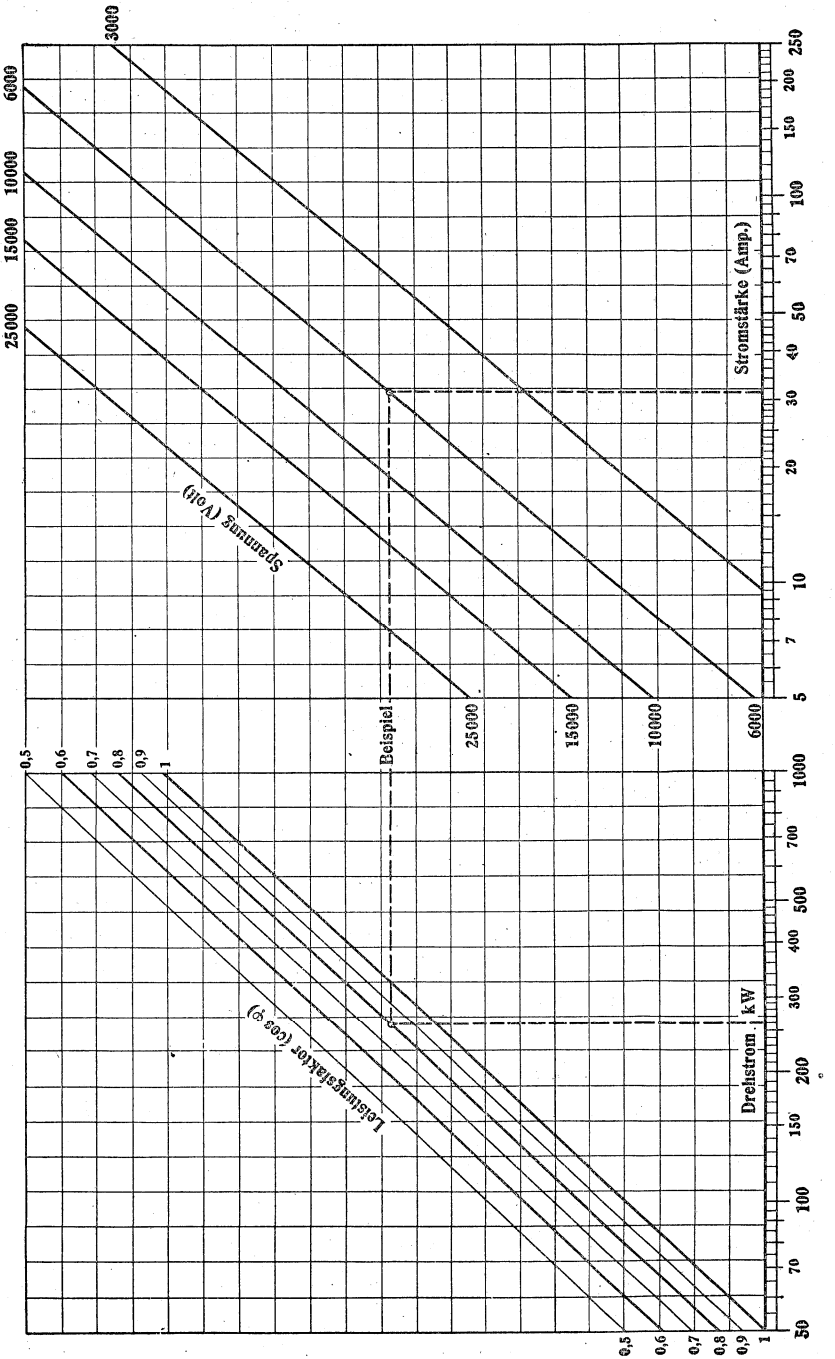
mm²	Einleiter bis 1 kV	Zweileiter bis 1 kV	Dreileiter, verseilt, bis 1 kV	Dreileiter, verseilt, bis 3 kV	Dreileiter, verseilt, bis 6 kV	Dreileiter, verseilt, bis 10 kV	Vierleiter verseilt, bis 1 kV
Kupferkabel							
1,5	35	30	25				22
2,5	50	40	35	—			30
4	65	50	45		—	—	40
6	85	65	60	60			55
Aluminiumkabel							
4	50	40	35	35	—	—	35
6	70	50	45	50	45	—	45
10	90	70	65	65	60	50	65
16	125	95	90	85	80	70	90
25	160	125	110	110	105	90	110
35	200	150	130	130	130	110	130
50	250	190	160	160	155	130	160
70	305	225	195	195	190	160	195
95	370	270	235	230	225	190	235
120	430	305	270	270	260	225	270
150	490	350	310	305	295	255	310
185	550	390	355	350	335	290	355
240	640	455	410	405	390	340	410

* Den Belastungszahlen ist für Kabel bei Nennspannung bei 6 kV eine Leiterübertemperatur von 35° C, für Kabel höherer Nennspannung eine Leiterübertemperatur von 25° C bei der Verlegung eines Kabels in der üblichen Verlegungstiefe von 70 cm in Erde zugrunde gelegt. Liegen mehrere Kabel in einem Graben nebeneinander, so vermindern sich die Werte für 2 Kabel auf 90%, für 4 Kabel auf 80%, für 6 Kabel auf 75% und für 8 Kabel auf 70%.

Bei Verlegung von Kabeln in Luft ist es empfehlenswert, mit 75% der Tabellenwerte zu rechnen. Bei Verlegung in Kanälen oder in Rohren sind die Werte um weitere 10% zu vermindern. Bei Anhäufung in Kanälen oder Rohrblöcken sowie bei Verlegung mehrerer Kabel in einem Graben in mehreren Lagen übereinander muß die zulässige Belastbarkeit von Fall zu Fall festgesetzt werden. Das gleiche gilt bei aussetzendem Betrieb.



Tafel 3 zur Ermittlung der Stromstärke aus der Leistung bei isol. Leitungen.



Tafel 4 zur Ermittlung der Stromstärke für Spannungen von 3 kV und darüber.

Bemessung auf Spannungsabfall und Leistungsverlust.

Elektrische Leitungen sind außer auf Festigkeit und Erwärmung auch so zu bemessen, daß die Stromverbraucher eine ausreichende Spannung erhalten. Der Spannungsabfall darf daher ein für die jeweiligen Betriebsverhältnisse zulässiges Maß nicht überschreiten. Als ungefährer Anhalt gelte für Lichtanlagen 4 v. H., für Kraftanlagen 6 v. H. als oberste Grenze. Zum Zwecke der Leitungsberechnung wird der Spannungsabfall in V umgerechnet. 5 v. H. Spannungsabfall bei 380 V Betriebsspannung entspricht z. B. einem Spannungsabfall von 19 V.

Bei gegebenem Leitungsquerschnitt wird der Spannungsabfall in V nach den hierunter links angegebenen Formeln berechnet. Für einen bestimmten Spannungsabfall in V wird der notwendige Leitungsquerschnitt nach den hierunter rechts angegebenen Formeln berechnet.

Formeln für die Berechnung des Spannungsabfalles und des Querschnittes.

Stromart	Der Spannungsabfall in V berechnet sich:	Der Querschnitt berechnet sich:
Gleichstrom und Zweileiter-Wechselstrom (bei Gs ist für cos φ der Faktor 1 einzusetzen)	wenn die Stromstärke bekannt ist: $e=\frac{2 \cdot L \cdot I \cos \varphi}{k \cdot q}$ — oder — wenn die Leistung bekannt ist: $e=\frac{2 \cdot L \cdot N}{k \cdot q \cdot E}$	wenn die Stromstärke bekannt ist: $q=\frac{2 \cdot L \cdot I \cos \varphi}{k \cdot e}$ — oder — wenn die Leistung bekannt ist: $q=\frac{2 \cdot L \cdot N}{k \cdot e \cdot E}$
Drehstrom (Ueber die Berücksichtigung des induktiven Widerstandes der Freileitungen Seite 291)	wenn die Stromstärke bekannt ist: $e=\frac{1{,}73 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{k \cdot q}$ — oder — wenn die Leistung bekannt ist: $e=\frac{L \cdot N}{k \cdot q \cdot E}$	wenn die Stromstärke bekannt ist: $q=\frac{1{,}73 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{k \cdot e}$ — oder — wenn die Leistung bekannt ist: $q=\frac{L \cdot N}{k \cdot e \cdot E}$

Für die Bemessung des Querschnittes kann neben dem Spannungsabfall auch der Leistungsverlust ausschlaggebend sein, der in der zu bestimmenden Leitung entsteht. Er wird meist in Hundertteilen der übertragenen Leistung angegeben und berechnet sich nach folgenden Formeln:

Formeln für die Berechnung des Leistungsverlustes.

Für Gleichstrom	$p=\frac{200 \cdot L \cdot N}{k \cdot q \cdot E \cdot E}$	Für Drehstrom	$\frac{100 \cdot L \cdot N}{k \cdot q \cdot E \cdot E \cdot \cos \varphi \cdot \cos \varphi}$

In den Formeln bedeuten:

E die Betriebsspannung in V: in Zweileiteranlagen zwischen den beiden Leitungen, in Gleichstrom-Dreileiteranlagen zwischen den beiden Außenleitungen, in Drehstromanlagen zwischen je zwei der Zuleitungen (nicht zwischen Zuleitung und Nulleitung).

e den Abfall der Spannung in V vom Anfang bis zum Ende der Leitung.

N die übertragene Leistung in W.

p den Leistungsverlust vom Anfang bis zum Ende der Leitung in v. H.

I die Stromstärke in einer Leitung in A.

L die Länge der zu betrachtenden Leitungsstrecke in m.

q den Querschnitt der fraglichen Leitung in mm².

k die Leitfähigkeit: für Kupfer (hartgezogen) 56, für Aluminium (hartgezogen) 35, für Eisen 10.

Die nach den angegebenen Formeln errechneten Werte für den Spannungsabfall e und den Leitungsquerschnitt q gelten bei Leitungen für Wechselstrom und Drehstrom ohne induktiven Widerstand, z. B. für Licht- und Kraftleitungen in Gebäuden, die mit geringem Abstand voneinander verlegt sind, für Leitungen in gemeinsamen Rohren und für Kabel. Freileitungen, die meist einen erheblichen Abstand voneinander haben, besitzen bei Wechselstrom und Drehstrom induktiven Widerstand. Dieser wird bei der Berechnung von Freileitungen dadurch berücksichtigt, daß die errechneten Werte für e und q mit den für die betreffenden Verhältnisse in Frage kommenden nachstehend angegebenen Zahlen multipliziert werden.

Tafel 5. Berücksichtigung des induktiven Widerstandes von Freileitungen bei der Berechnung auf Spannungsabfall

durch Multiplikation der oben errechneten Werte für e und q mit nachstehenden Zahlen

Querschnitt mm²	$\cos\varphi = 0{,}9$ Leiterabstand cm			$\cos\varphi = 0{,}8$ Leiterabstand cm			$\cos\varphi = 0{,}7$ Leiterabstand cm			$\cos\varphi = 0{,}6$ Leiterabstand cm		
	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60
10	1,1	1,1	1,1	1,15	1,16	1,16	1,2	1,21	1,22	1,27	1,28	1,29
16	1,15	1,15	1,16	1,23	1,24	1,25	1,31	1,32	1,34	1,41	1,43	1,44
25	1,22	1,23	1,24	1,34	1,36	1,37	1,47	1,49	1,5	1,61	1,63	1,65
35	1,3	1,31	1,32	1,47	1,48	1,5	1,63	1,66	1,68	1,83	1,86	1,89
50	1,41	1,43	1,45	1,64	1,67	1,7	1,87	1,91	1,94	2,14	2,19	2,24
70	1,56	1,59	1,61	1,86	1,9	1,84	2,17	2,23	2,28	2,54	2,62	2,68
95	1,73	1,77	1,8	2,13	2,19	2,24	2,54	2,61	2,68	3,02	3,12	3,2

Außer der rechnerischen Ermittlung von Leitungsquerschnitten mittels der angegebenen Formeln geben die Rechentafeln 6 und 7 auf Seite 292/293 die Möglichkeit, den unter Berücksichtigung des Leistungsverlustes erforderlichen Querschnitt unmittelbar abzulesen. Den Tafeln sind die Formeln für den Leistungsverlust auf Seite 290 zugrunde gelegt.

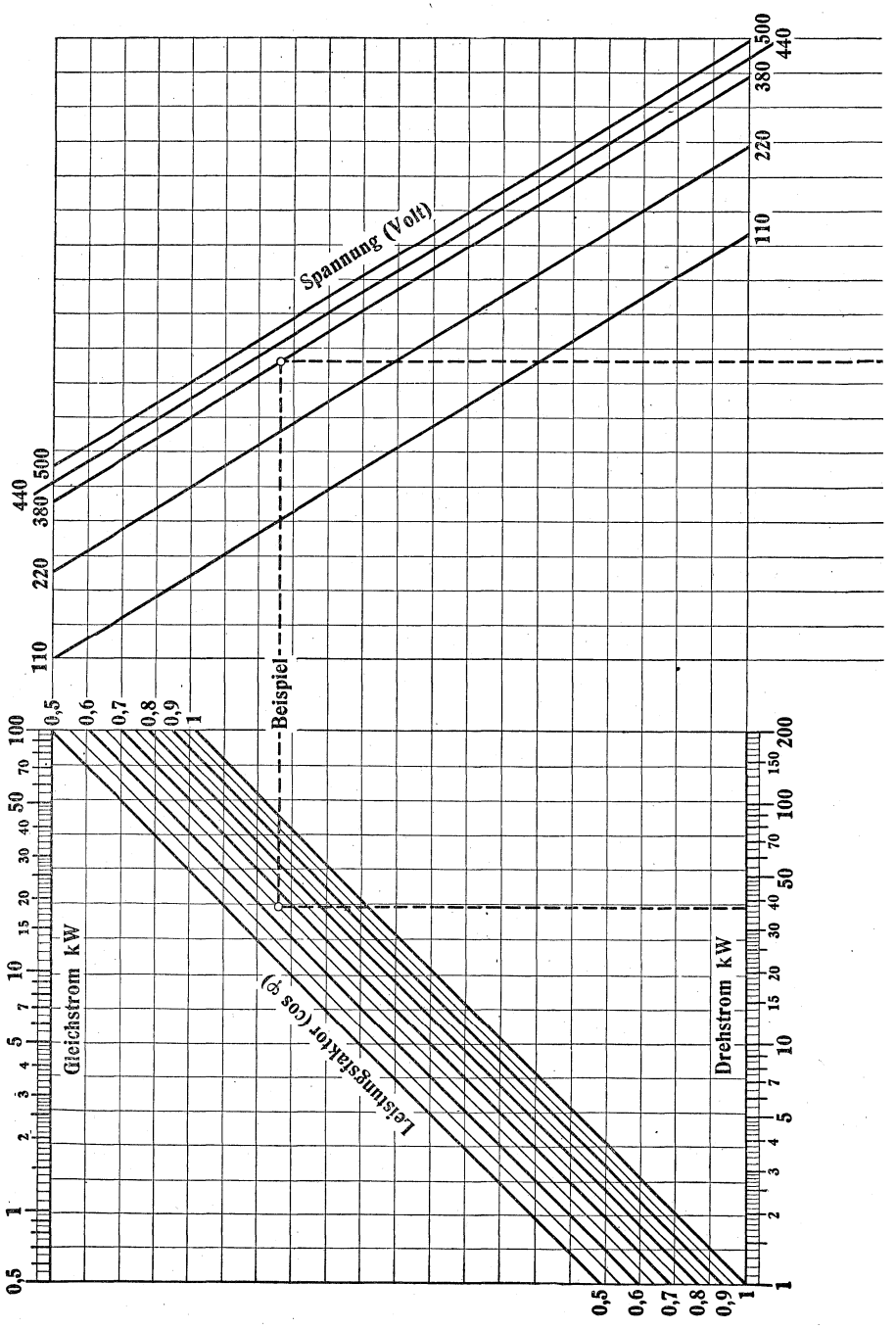
Über die Anwendung der Rechentafeln gibt folgendes Beispiel Aufschluß:

Die Leistung von 37 kW soll bei einem Leistungsverlust von 2 v. H., einer Spannung von 380 V Drehstrom und einem Leistungsfaktor von $\cos\varphi = 0{,}65$ auf eine Entfernung von 70 m mittels einer Cu-Leitung übertragen werden.

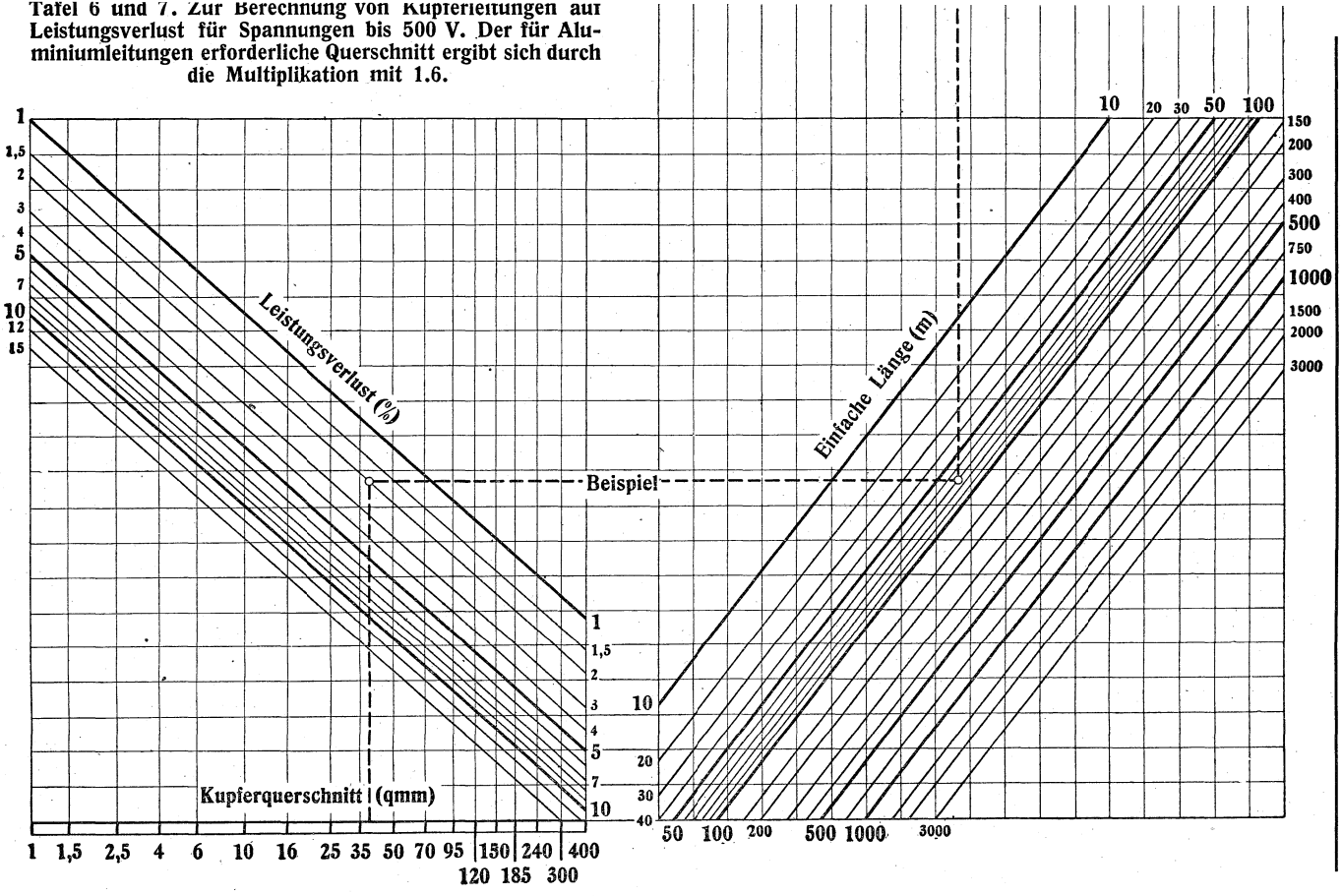
Um den zu wählenden Querschnitt zu ermitteln, geht man auf der Tafel Seite 292/293 von der Einteilung für Drehstrom-kW senkrecht nach oben bis zur Linie 0,65. Von hier aus verfolgt man die waagerechte Linie bis zur Linie 380 V, von hier aus weiter senkrecht nach unten bis zur Linie 70 m, weiter waagerecht nach links bis zur Linie des Leistungsverlustes von 2 v. H., um hier aus senkrecht nach unten auf die Einteilung der Querschnitte zu kommen. Hierbei ergibt sich ein Querschnitt von 38 mm² für Kupfer. Man wird also einen Querschnitt von 50 mm² wählen. Will man den genauen Leistungsverlust für diesen Querschnitt ermitteln, so geht man rückwärts bis zum Schnittpunkt mit der waagerechten Linie und ermittelt einen Leistungsverlust von 1,5 v. H. Für eine Al-Leitung ist der für Cu gefundene Werst von 38 mm² mit 1,6 zu multiplizieren. Man erhält $1{,}6 \times 38 = 61$ mm², wählt also 70 mm² als Querschnitt.

Ist nicht der Querschnitt zu ermitteln, sondern eine der anderen Größen, so beginnt man mit den bekannten Größen und ermittelt aus dem Zusammentreffen der Linien von beiden Richtungen die gesuchte Größe. Für Rechnungen mit Gleichstromleistungen ist für den Leistungsfaktor stets die Linie 1 zu verwenden.

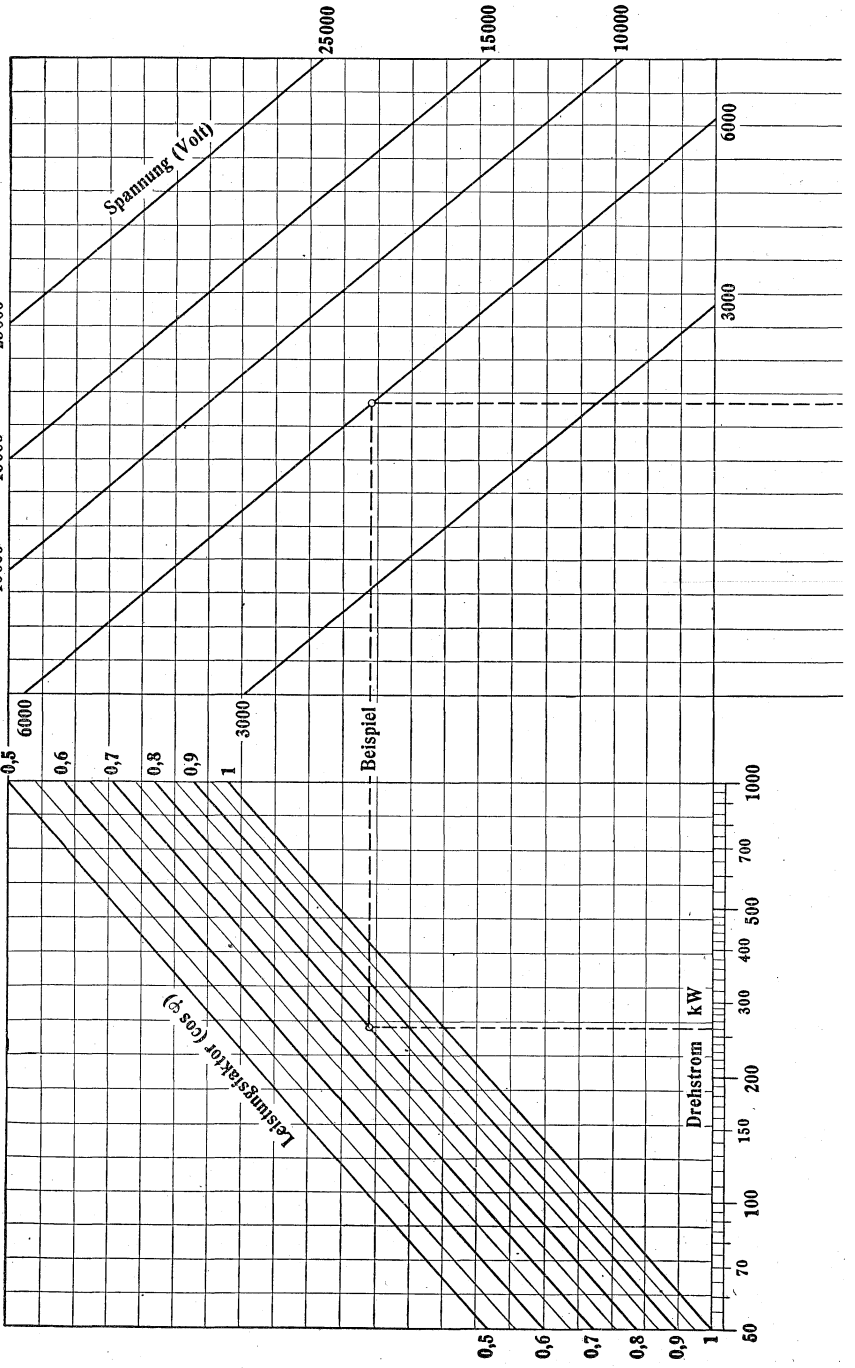
Auf dieselbe Art findet man auf den Tafeln für Hochspannung, Seite 294/295 für die Leistung von 260 kW bei 6 kV, $\cos\varphi = 0{,}8$ Leistungsverlust $p = 5\%$ und 6000 m Länge einen Querschnitt von 25 mm² für Kupfer. Für Ermittlung des Querschnittes einer Al-Leitung ist wieder mit 1,6 zu multiplizieren.

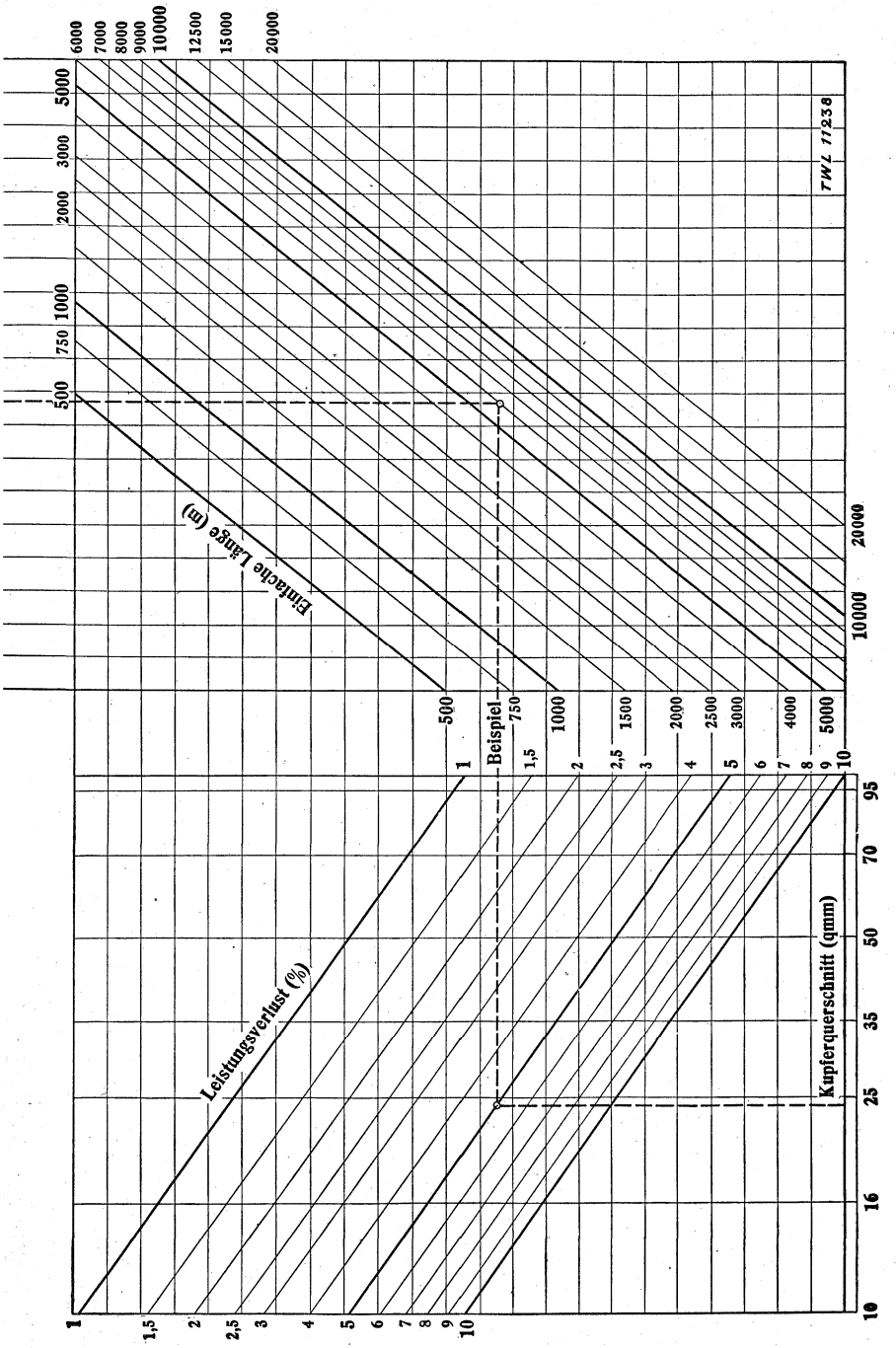

Spannung (Volt)
110
220
380
440
500
Beispiel
Gleichstrom kW
Drehstrom kW
Leistungsfaktor (cos φ)
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1

Tafel 6 und 7. Zur Berechnung von Kupferleitungen auf Leistungsverlust für Spannungen bis 500 V. Der für Aluminiumleitungen erforderliche Querschnitt ergibt sich durch die Multiplikation mit 1.6.



Tafel 8 und 9. Zur Berechnung von Kupferleitungen auf Leistungsverlust für Spannungen von 3 kV und darüber. Der für Aluminiumleitungen erforderliche Querschnitt ergibt sich durch Multiplikation mit 1.6.




Einfache Länge (m)
Leistungsverlust (%)
Kupferquerschnitt (qmm)
Beispiel
TWL 11238

Tafel 10. Zulässige Dauerstromstärken, Nennstromstärken der Sicherungen, Leistungen, die übertragen werden können, und Spannungsabfall in V und Prozent für je 100 m Strecke bei Belastung des induktionsfreien Aluminium*)-Leitungsquerschnittes mit der Nennstromstärke der Sicherung.

Querschnitt	Höchstzulässige Stromstärke / Nennstr. f. entspr. Schmelzsichg.				Gleichstrom			Drehstrom							
								125 V		220 V		380 V		500 V	
					110 V	220 V	440 V	cos φ		cos φ		cos φ		cos φ	
mm²	A							1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8
2,5	17	10	Belastung	kW	1,1	2,2	4,4	2,16	1,73	3,8	3,04	6,6	5,25	8,65	6,9
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	23,0	23,0	23,0	19,8	15,8	19,8	15,8	19,8	15,8	19,8	15,8
				%	20,9	10,4	5,2	15,8	12,6	9,0	7,2	5,2	4,2	4,0	3,2
4	22	15	Belastung	kW	1,65	3,3	6,6	3,24	2,6	5,7	4,55	9,85	7,85	13,0	10,4
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	21,5	21,5	21,5	18,5	14,8	18,5	14,8	18,5	14,8	18,5	14,8
				%	19,5	9,8	4,9	14,8	11,8	8,4	6,7	4,9	3,9	3,7	3,0
6	28	20	Belastung	kW	2,2	4,4	8,8	4,32	3,46	7,6	6,1	13,2	10,5	17,3	13,8
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	19,0	19,0	19,0	16,5	13,2	16,5	13,2	16,5	13,2	16,5	13,2
				%	17,3	8,6	4,3	13,2	10,5	7,5	6,0	4,3	3,5	3,3	2,6
10	38	25	Belastung	kW	2,75	5,5	11,0	5,4	4,33	9,5	7,6	16,5	13,1	21,8	17,3
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	14,3	14,3	14,3	12,4	9,9	12,4	9,9	12,4	9,9	12,4	9,9
				%	13,0	6,5	3,3	9,9	7,9	5,6	4,5	3,3	2,6	2,5	2,0
16	53	35	Belastung	kW	3,85	7,7	15,4	7,56	6,05	13,3	10,6	23,0	18,4	30,4	24,2
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	12,5	12,5	12,5	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7
				%	11,4	5,7	2,8	8,6	7,0	4,9	4,0	2,7	2,3	2,2	1,7
25	72	60	Belastung	kW	6,6	13,2	26,4	13,0	10,4	22,8	18,2	39,6	31,6	52,0	41,5
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	13,7	13,7	13,7	11,9	9,5	11,9	9,5	11,9	9,5	11,9	9,5
				%	12,5	6,2	3,1	9,5	7,7	5,4	4,3	3,1	2,5	2,4	1,9
35	90	80	Belastung	kW	8,8	17,6	35,2	17,3	13,8	30,4	24,4	52,5	42,0	69,5	55,5
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	13,1	13,1	13,1	11,3	9,0	11,3	9,0	11,3	9,0	11,3	9,0
				%	11,9	6,0	3,0	9,0	7,2	5,1	4,1	3,0	2,4	2,3	1,8
50	110	100	Belastung	kW	11,0	22,0	44,0	21,6	17,3	38,0	30,4	66	52,5	86,5	69,0
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	11,4	11,4	11,4	9,9	7,9	9,9	7,9	9,9	7,9	9,9	7,9
				%	10,4	5,2	2,6	7,9	6,3	4,5	3,6	2,6	2,1	2,0	1,6
70	140	125	Belastung	kW	13,8	27,5	55,0	27	21,6	47,5	38,0	82	66,0	108,0	87,0
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	10,2	10,2	10,2	8,8	7,0	8,8	7,0	8,8	7,0	8,8	7,0
				%	9,3	4,6	2,3	7,0	5,6	4,0	3,2	2,3	1,8	1,8	1,4
95	175	160	Belastung	kW	17,6	35,2	70,5	34,6	27,7	61,0	48,5	105	84	138	111,0
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	V	9,6	9,6	9,6	8,3	6,6	8,3	6,6	8,3	6,6	8,3	6,6
				%	8,8	4,4	2,2	6,6	5,3	3,8	3,0	2,2	1,7	1,7	1,3

*) Um die angegebene Größe des Spannungsabfalls für eine Kupferleitung gleichen Querschnittes zu verwerten, hat man mit 0,625 zu multiplizieren und den so gefundenen Wert im Verhältnis der zulässigen Belastungen zu erhöhen.

Beispiel: Für 50 mm² Al ergibt sich bei 440 V Gs der Spannungsabfall mit 11,4 V. Der Cu-Querschnitt 50 mm² kann nach Tafel 2 Seite 287 mit 125 A belastet werden. So ist der Spannungsabfall bei der Cu-Leitung von 50 mm² $= \frac{11{,}4 \times 0{,}625 \cdot 125}{100} = 8{,}9$ V.

Tafel 11. Spannungsabfall in V für induktionsfreie Aluminiumleitungen*) bei 220 V Drehstrom oder 440 V Gleichstrom.

L × N Länge × kW	Leitungsquerschnitt in mm²												
	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
10	0,520	0,325	0,218	0,13	0,082	0,052	0,037	0,0256	0,0186	0,0137	0,0109	0,0086	0,0070
100	5,20	3,25	2,18	1,3	0,82	0,520	0,370	0,256	0,186	0,137	0,109	0,0865	0,070
110	5,75	3,60	2,40	1,42	0,90	0,560	0,410	0,285	0,205	0,153	0,118	0,096	0,077
120	6,25	3,92	2,59	1,55	0,98	0,625	0,448	0,310	0,221	0,167	0,130	0,104	0,084
130	6,80	4,24	2,80	1,70	1,05	0,680	0,480	0,336	0,240	0,179	0,141	0,112	0,091
140	7,30	4,55	3,04	1,82	1,14	0,730	0,520	0,360	0,259	0,192	0,152	0,122	0,098
150	7,85	4,88	3,20	1,95	1,22	0,785	0,560	0,392	0,278	0,208	0,160	0,130	0,105
160	8,30	5,20	3,44	2,08	1,30	0,830	0,592	0,416	0,298	0,221	0,173	0,139	0,112
170	8,80	5,50	3,68	2,21	1,39	0,880	0,632	0,440	0,317	0,234	0,186	0,147	0,119
180	9,35	5,85	3,92	2,34	1,47	0,935	0,672	0,464	0,336	0,246	0,195	0,157	0,126
190	9,90	6,15	4,08	2,46	1,55	0,990	0,704	0,488	0,352	0,262	0,208	0,163	0,133
200	10,4	6,5	4,32	2,59	1,63	1,04	0,744	0,522	0,368	0,272	0,217	0,173	0,140
220	11,4	7,2	4,72	2,85	1,79	1,15	0,815	0,567	0,408	0,304	0,240	0,189	0,155
240	12,5	7,8	5,20	3,14	1,95	1,25	0,895	0,624	0,448	0,328	0,259	0,208	0,169
260	13,5	8,5	5,60	3,36	2,11	1,36	0,960	0,672	0,480	0,360	0,282	0,224	0,183
280	14,5	9,1	6,08	3,68	2,27	1,46	1,040	0,728	0,520	0,384	0,304	0,243	0,197
300	15,6	9,7	6,48	3,92	2,43	1,57	1,12	0,775	0,560	0,408	0,328	0,259	0,211
320	16,7	10,4	6,95	4,16	2,62	1,67	1,18	0,831	0,592	0,440	0,344	0,278	0,225
340	17,8	11,2	7,35	4,40	2,78	1,78	1,26	0,880	0,632	0,464	0,368	0,284	0,239
360	18,9	11,8	7,75	4,72	2,94	1,89	1,33	0,927	0,664	0,496	0,392	0,314	0,253
380	19,9	12,5	8,33	4,96	3,10	1,99	1,41	0,991	0,704	0,520	0,416	0,328	0,267
400	20,8	13,0	8,65	5,20	3,28	2,08	1,49	1,04	0,745	0,544	0,432	0,344	0,281
450	23,4	14,7	9,75	5,85	3,68	2,34	1,66	1,17	0,832	0,615	0,488	0,392	0,316
500	25,9	16,3	10,9	6,50	4,08	2,59	1,86	1,30	0,928	0,688	0,544	0,432	0,351
550	28,8	17,9	12,0	7,13	4,48	2,88	2,05	1,42	1,025	0,752	0,592	0,480	0,386
600	31,4	19,5	13,0	7,85	4,88	3,14	2,24	1,55	1,12	0,832	0,648	0,520	0,422
650	33,6	21,5	14,1	8,50	5,28	3,36	2,40	1,70	1,22	0,895	0,704	0,560	0,456
700	36,8	22,7	15,2	9,15	5,67	3,68	2,59	1,82	1,30	0,960	0,760	0,608	0,492
750	39,2	24,3	16,3	9,75	6,08	3,92	2,78	1,95	1,39	1,025	0,808	0,648	0,526
800	41,6	26,0	17,4	10,4	6,48	4,16	2,98	2,08	1,49	1,10	0,865	0,695	0,562
850	44,0	27,5	18,5	11,0	6,88	4,40	3,16	2,21	1,58	1,17	0,920	0,735	0,597
900	46,5	29,0	19,5	11,7	7,28	4,64	3,36	2,33	1,67	1,23	0,775	0,785	0,632
950	49,5	31,0	20,5	12,3	7,77	4,96	3,52	2,46	1,76	1,31	1,025	0,815	0,667
1000	52,0	32,5	21,8	13,0	8,20	5,2	3,68	2,56	1,86	1,37	1,09	0,865	0,703

*) Für Kupferleitungen sind die Werte mit 0,625 zu multiplizieren.

Obige Tafel 11 ist auf Grund der auf Seite 290 angegebenen Formeln berechnet worden. Für andere Spannungen als 220 V Drehstrom und 440 V Gleichstrom sind die Werte mit den entsprechenden nachstehenden Hilfszahlen zu multiplizieren. Soll obige

Stromart	Gleichstrom				Drehstrom			
	110 V	220 V	440 V	550 V	125 V	220 V	380 V	500 V
Hilfszahl	4	2	1	0,8	1,75	1	0,6	0,45

Tafel für die Berechnung von Freileitungen, also von Leitungen mit induktivem Widerstand, verwendet werden, so müssen die Werte außer mit der betreffenden Hilfszahl noch mit der entsprechenden Zahl aus der Tafel 5 (Seite 291) multipliziert werden.

Beispiele für die Anwendung der Formeln Seite 290 und der Tafeln 10 und 11 auf Seite 296 und 297.

In der Tafel 11 auf Seite 297 sind die Werte L·N in Abständen angegeben, welche es gestatten, etwa noch dazwischen liegende Werte mit genügender Genauigkeit zu schätzen. Bei Werten von L·N unter 100 ist zunächst der zehnfache Betrag aufzusuchen und das Ergebnis durch 10 zu teilen. Bei Werten von L·N über 1000 ist zunächst ein Zehntel dieses Wertes anzuwenden und das Ergebnis mit 10 zu multiplizieren. Die Beispiele beziehen sich auf Al-Leitungen. Für die Anwendung auf Cu-Leitungen vgl. die Bemerkungen unter den Tafeln.

Beispiel 1.

Gegeben: L·N = 55. Al-Leitungsquerschnitt 4 mm², 440 V Gleichstrom.
Gesucht: Der Spannungsabfall?
Lösung: Für L·N = 550 und 4 mm² ist e = 17,9 V;
für L·N = 55 und 4 mm² ist e = 17,9:10 = 1,79 V.

Beispiel 2.

Gegeben: N = 12 kW für Motoren. L = 570 m. Al-Freileitung, Drehstrom 220 V, Spannungsabfall 8% = 17,6 V, cos φ = 0,8, Leiterabstand 50 cm.
Gesucht: Querschnitt in Al.
Lösung: Die Leistung ist bekannt, für Drehstrom gilt nach Seite 290 die Formel

$$q = \frac{L \cdot N}{k \cdot e \cdot E;} \text{ mithin ist } q = \frac{570 \cdot 12000}{35 \cdot 17{,}6 \cdot 220} = 50{,}5 \text{ mm}^2.$$

Weil es sich um eine Freileitung mit Motorenbelastung handelt, ist nach Seite 291 q mit **1.67** zu multiplizieren. q = 50,5·1,67 = 84, man wählt jedoch 95 mm².

Beispiel 3.

Gegeben: Dieselben Betriebsverhältnisse wie im Beispiel 2.
Gesucht: Der Leistungsverlust?
Lösung: Nach der Formel auf Seite 290 ist der prozentuale Leistungsverlust

$$p = \frac{100 \cdot 570 \cdot 12000}{35 \cdot 95 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8} = 6{,}7\%.$$

Beispiel 4.

Gegeben: N = 2000 W (= 2 kW), L = 55 m Leitung in Rohr, Stromart Gleichstrom 220 V, Spannungsabfall 10 V.
Gesucht: Der Leitungsquerschnitt in Cu?
Lösung: Nach der Hilfstabelle auf Seite 297 beträgt für Installationsleitungen, Gleichstrom 220 V, die Hilfszahl **2**. Der beim Aufsuchen des Leitungsquerschnittes zu berücksichtigende Spannungsabfall ist somit 10:2 = 5V. L·N = 55.2 = 110, mithin ist nach Tafel 11 auf Seite 297 für L·N = 110 und dem 5 V angenäherten (kleineren) Spannungsabfall von 3,6 V ein Leitungsquerschnitt von 4 mm² in Al erforderlich.
Als Cu-Leitungsquerschnitt ergibt sich 4×0,625 = 2,5 mm².

Beispiel 5.

Gegeben: Eine Al-Leitung 50 mm², L=240 m, Gleichstrom 440 V, Spannungsverlust 3%.
Gesucht: Die Leistung, die übertragen werden kann?
Lösung: Nach Tafel 10 auf Seite 296 überträgt bei Gleichstrom 440 V eine Leitung von 50 mm² Al-Querschnitt höchstens 44 kW und hat dabei für je 100 m Länge 2,6% Spannungsabfall, Auf 240 m Länge würde der Spannungsabfall 2,6×2,4 = 6,25% betragen. Da er nur 3% betragen soll, darf die Leitung nur mit 44×3:6,5 = 21 kW belastet werden.

II. Verlegung von Freileitungen.

Leitungsdrähte.

Freileitungen werden fast ausschließlich aus **blanken Drähten** hergestellt. Isolierte Drähte werden nicht mehr verwendet. In besonderen Fällen verwendet man geschützte Leitungen (WCP).

Man verwendet beim Freileitungsbau, ebenso auch für Hausanschlüsse vorwiegend Aluminiumseile. In vorhandenen Netzen mit Kupferleitungen können die Hausanschlüsse auch mit Kupferdraht hergestellt werden. (Mindestquerschnitt 10 mm², in Ausnahmefällen 6 mm²).

Bei Aluminiumleitungen verwendet man

als geringsten Querschnitt für Hausanschlüsse u. Straßenbeleuchtung 25 mm² Seil,
als geringsten Querschnitt für Ortsnetze ..... 35 mm² Seil,
als höchsten Querschnitt für Ortsnetze ..... 70 mm² Seil,
in Ausnahmefällen ..... 95 mm² Seil.

Tafel 12.

Aufbau und Gewicht von blanken Kupfer- und Aluminium-Leitungen.

Querschnitt	Kupfer			Aluminium			Widerstand 1000 m Kupfer (hart)	Widerstand 1000 m Aluminium (hart)
	kaltgereckt (hart) für Freileitungen			kaltgereckt (hart) für Freileitungen				
	Anzahl u. Durchmesser der Einzeldrähte	Außendurchmesser Nennwert	Gewicht	Anzahl u. Durchmesser der Einzeldrähte	Außendurchmesser Nennwert	Gewicht		
in mm²	in mm	mm	je km etwa kg	in mm	mm	je km etwa kg	etwa Ohm	etwa Ohm
10 e	1 × 3,55	3,55	88	—	—	—	1,804	
m	7 × 1,35	4,1	90	—	—	—	1,805	
16 e	1 × 4,5	4,5	142	—	—	—	1,123	
m	7 × 1,7	5,1	144	7 × 1,7	5,1	44	1,139	1,823
25 e	1 × 5,6	5,6	219	—	—	—	0,725	
m	7 × 2,1	6,3	220	7 × 2,1	6,3	68	0,746	1,194
35	7 × 2,5	7,5	310	7 × 2,5	7,5	95	0,527	0,842
50	7 × 3	9	450	7 × 3	9	138	0,366	0,586
70	19 × 2,1	10,5	600	19 × 2,1	10,5	184	0,276	0,442
95	19 × 2,5	12,5	850	19 × 2,5	12,5	260	0,194	0,310
120	19 × 2,8	14	1060	19 × 2,8	14	325	0,156	0,25
150	37 × 2,25	15,8	1340	37 × 2,25	15,8	410	0,124	0,198

Stützpunkte (Masten und Rohrständer).

Als Stützpunkte wählt man in der Regel gut durchgetränkte **Holzmasten** und in besonderen Fällen Beton- oder Eisenmasten. Die Holzmasten müssen entsprechend VDE 0210/X. 38 eine den örtlichen Verhältnissen und der Spannweite angepaßte Länge und der Beanspruchung entsprechende Stärke haben. Die Stärke wird nach dem mittleren Durchmesser am oberen dünnen Ende angegeben (Zopfstärke), berechnet aus Umfang : 3,14.

Die Entfernung der Stützpunkte (Spannweite) wird bei geschlossener Bauweise der Ortschaften bis 40 m und bei Ausläufern bis 60 m gewählt. Für eine Spannweite von 40 m und Al-Leitung haben sich die Abmessungen der Tafel 13 bewährt.

Tafel 13.

Abmessungen der einfachen Holzmasten bei Al-Leitungen und 40 m Spannweite.

Leitungs-querschnitte für Al bis mm²	Leitungs-zug kg/mm²	Phasen-abstand in m	Mastlänge in m	Zopfstärke in cm	Eingrabetiefe in m (mindestens)
4 × 50	5,5	0,60	9	15...17	1,60
4 × 70	4,5	0,60	9	16...18	1,60
4 × 95	3,8	0,60	9	17...19	1,60
4 × 50 1 × 25	5,5	0,60	10	15...17	1,80
4 × 50 2 × 25	5,5	0,60	10	15...17	1,80
4 × 70 1 × 25	4,5	0,60	10	16...18	1,80
4 × 70 2 × 25	4,5	0,60	10	16...18	1,80
4 × 95 1 × 25	3,8	0,60	10	17...19	1,80
4 × 95 2 × 25	3,8	0,60	10	17...19	1,80

Werden bei Ortsnetzausläufern Spannweiten bis 60 m gewählt, so müssen die Masten 1 m länger sein und die Eingrabetiefe muß 1,90 m betragen.

Auf gerader Leitungsstrecke haben die Masten nur das Gewicht der Drähte zu tragen. Ihre Beanspruchung ist daher gering. An Winkelpunkten und an den Enden der Leitungsstrecke treten aber erhebliche Zugbeanspruchungen auf, denen ein einzelner Mast allein nicht genügend Widerstand leisten kann. Man sichert ihn daher entweder mit einem Anker, mit einer Strebe oder man verbindet zwei Masten zu einem A-Mast. Die verschiedenen Mastformen sind in den Bildern 1—7 dargestellt. Alle Verstärkungseinrichtungen müssen so angebracht werden, daß sie die wirkenden Kräfte voll aufnehmen, d. h. sie müssen in Richtung der resultierenden Zugkraft angebracht werden. Über die Herstellung von Ankern, Streben und A-Masten bestehen in den einzelnen Verwendungsgebieten gewisse Gewohnheiten, denen man sich anpassen muß. Wichtig ist aber in jedem Falle die richtige Befestigung der Anker, Streben usw. im Erdboden.

Die Herstellung von **Ankern** nach Bild 2 erfolgt durch verzinktes Eisenseil von 50 oder 70 mm². Das Ankerseil wird am Mast durch eine Schloßschraube oder aber zweckmäßiger mittels eines durchgehenden Bolzens von 5/8" Durchmesser gehalten. Um den Anker nachspannen zu können, ist ein Spannschloß 5/8" von 300 bis 350 mm Schloßlänge mit zwei Ösen erforderlich, ferner ein Abspannisolator, ein getränkter Ankerschutzpfosten von 2 m Länge und 16 cm Durchmesser, welcher mittels Krampen befestigt wird, und für die Befestigung im Erdboden ein getränktes Rundholz von 1,5 m Länge und 0,16 m Durchmesser. Ein Anker ist für einen Leitungszug bis 400 kg anwendbar, wenn der Abstand vom Ankerdraht bis zum Mast über Erdboden gemessen bis auf 3,30 m vergrößert wird, der Mast 10 m lang ist und 15-17 cm Zopfstärke hat. Die Verbindungen der einzelnen Seilenden können durch Schraub- oder Nietverbinder und Seilklemmen hergestellt werden.

Als **Streben** sind möglichst Stangen von gleichem Durchmesser, jedoch 1 m kürzer als der zu sichernde Mast zu verwenden. Die Verbindung der Strebe mit dem Mast erfolgt durch einen Bolzen von 3/4" Durchmesser und 380 mm Länge mit zwei Unterlegscheiben. Kann eine Strebe infolge örtlicher Verhältnisse nur eine geringe Ausladung erhalten, so ist der Mast mit der Strebe durch zwei getränkte Halbrundhölzer von

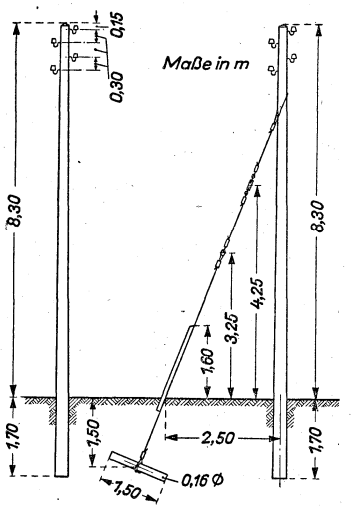


Bild 1.
Tragmast auf grader Strecke.

Bild 2.
Mast mit Eisenanker. Im Ankerdraht oben 1 Spannschloß, darunter 1 Abspannisolator.

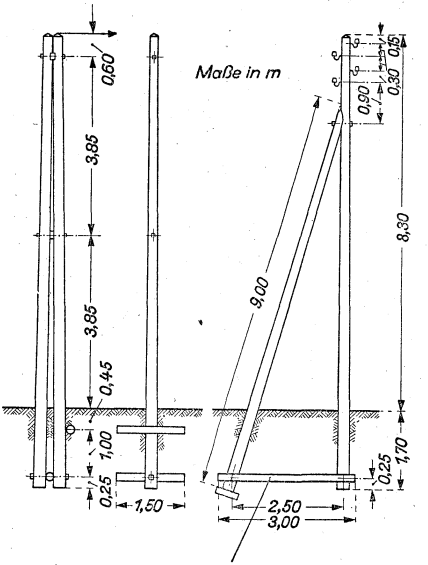


Bild 3.
Doppelmast.

Bild 4.
Zwei Halbrundhölzer. Mast mit Strebe und Querholz.

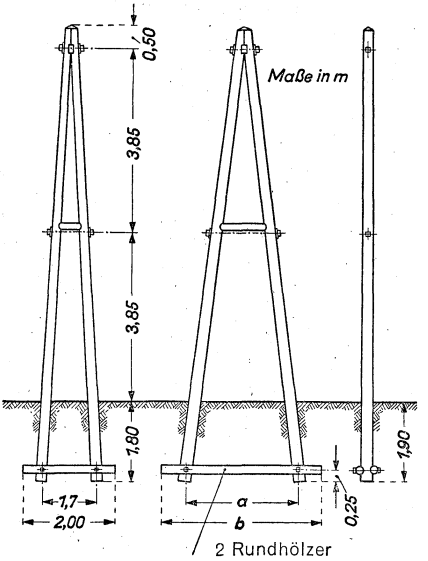


Bild 5. A-Mast für schwache Züge bis 750 kg.

Bild 6.
Zwei Rundhölzer. A-Mast für starke Züge bis 1475 kg.

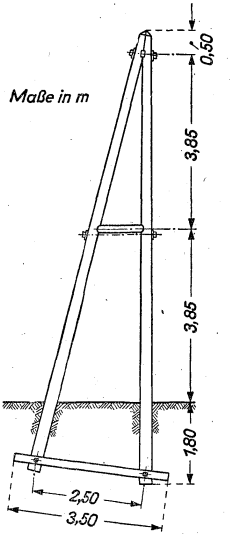


Bild 7.
Bockmast.

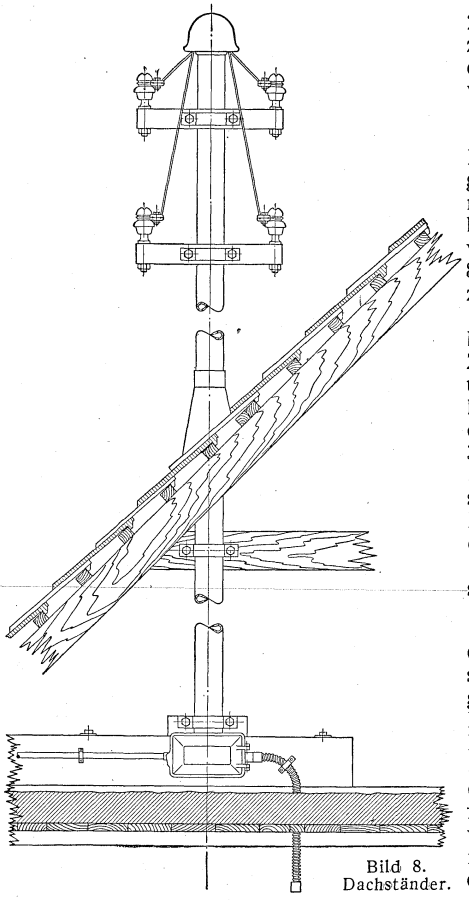


Bild 8. Dachständer.

2,25 m Länge und 16 cm Durchmesser zu verbinden. Die Strebe kann für einen Leitungszug bis 500 kg angewendet werden.

Zur Herstellung von **A-Masten** und **Bockmasten** verwendet man zwei Stangen von gleicher Zopfstärke, möglichst nicht unter 17-19 cm. Beim Zusammenbau wird in die Masten 0,50 m vom Zopfende ein Hartholzklotz von $8 \times 20 \times 18$ cm eingebaut, in der Mitte zwischen Erdoberfläche und Spitze ein Querriegel und am Fuße eine Verstrebung aus zwei Rundhölzern, je nach Zugbeanspruchung von 3—4 m Länge und 18 cm Durchmesser. Die Hartholzklötze müssen in Ausklinkungen genau eingepaßt und die Rundhölzer etwa 3 cm tief eingelassen werden. Alle Schraubenbolzen müssen $^3/_4''$ stark sein. Die zur Verwendung kommenden Hölzer müssen sämtlich getränkt und die Schnittflächen — auch bei Streben — mit Teeröl oder heißem Teer gestrichen werden.

Ist kein Raum für die Aufstellung eines normalen A-Mastes vorhanden, so verwendet man einen A-Mast mit geringerer Ausladung nach Bild 5. Damit in weichem Boden bei A- oder Bockmasten die auf Zug beanspruchte Seite sich nicht in den Boden eindrückt, legt man zweckmäßig einen flachen Stein oder ein Halbrundholz von 1,25 m Länge und 16 cm Durchmesser am Fuße des Mastes unter die Rundhölzer.

Tafel 14. Abmessungen und Tragfähigkeit der A- und Bock-Maste.

Gesamtlänge m	Ausladung a m	Länge der Rundhölzer b m	Zopfstärke cm	Eingrabetiefe mindestens m	zulässiger Zug der Leitungen kg
9	2	3	15/17	1,8	950
			16/18		1100
9	2	4	15/17	1,8	1325
			16/18		1475
10	2	3	16/18	2	850
			17/19		1100
10	2,75	4	16/18	2	1175
			17/19		1450
11	2	3	17/19	2	800
	2,75	4	17/19		1075
12	2	3	17/19	2,20	625
	2,75	4	17/19		825

Nach den VDE-Vorschriften müssen Ortsnetzfreileitungen bei größtem Durchhang über Wegen mindestens 6 m, im übrigen 5 m vom Erdboden entfernt sein. Die gleiche Vorschrift ist auch bei Ausführung von Freileitungs-Hausanschlüssen zu beachten. Dort, wo beladene Wagen durch die Einfahrt zum Gehöft fahren, muß der tiefste Punkt ebenfalls 6 m vom Erdboden entfernt sein. Dementsprechend ist die Länge der Masten zu wählen.

Zur Führung von Leitungen über Dächer verwendet man **Dachständer** mit einfachen Schellenstützen bis sechs Leitungen bei einem Phasenabstand von 0,60 m, bei mehr als sechs Leitungen Doppelschellenstützen, damit die Dachständer nicht zu lang werden (Bild 8). Bei einer Leitungsführung an Gebäuden benutzt man **Rohrgestänge** aus Gasrohr von 3" (Bild 9), die mit zwei Rohrschellen durch Schraubenbolzen von $\frac{5}{8}$" Durchmesser im Mauerwerk befestigt werden, oder **Rohrausleger** (Bild 10) mit der gleichen Befestigungsart.

Rohrgestänge und Rohrausleger sollen nur an mindestens 1 Stein starken Mauern angebracht und die Befestigungsschrauben stets mit Flacheisen von 60×8 mm in senkrechter Richtung hinterlegt werden. Als Isolatorstützen werden einfache Schellenstützen mit einem Phasenabstand der Leitungen von 0,60 m verwendet. Die Dachständer müssen so hoch sein, daß man bei flachen oder schwach geneigten Dächern

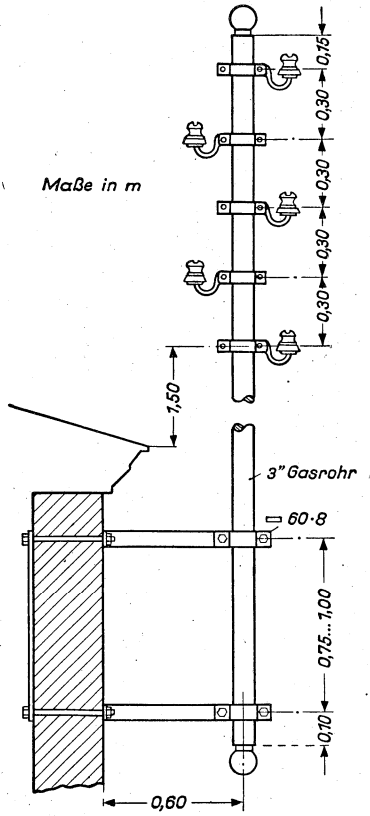


Bild 9. Rohrgestänge.

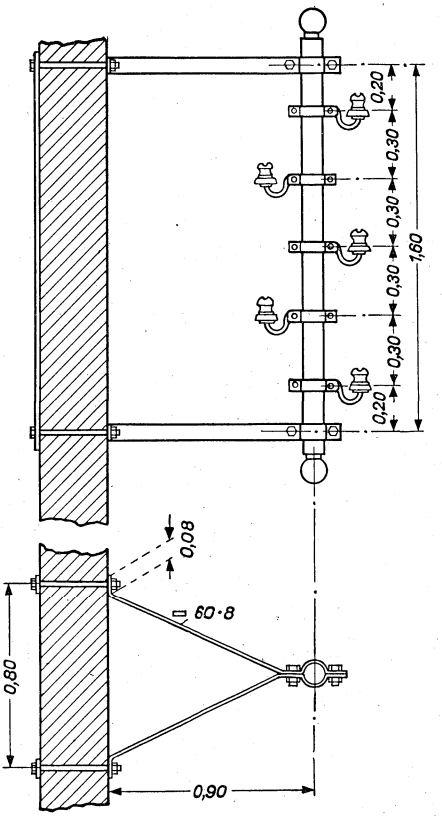


Bild 10. Rohrausleger.



Bild 11. RTI-Porzellanisolator N 95.

auf dem Dach stehend die Leitungen nicht berühren kann, da sonst bei Ausführung von Dacharbeiten eine Gefahr für die Arbeitenden besteht. Daher werden auf manchen Dächern häufig sehr lange Dachständer nötig, die je nach Anzahl und Querschnitt der Leitungen durch Ankerdrähte verstärkt werden müssen. Auch Rohrständer oder Rohrausleger müssen so ausgebildet sein, daß ein Berühren der blanken Leitungen vom Gebäude aus ohne besondere Hilfsmittel nicht möglich ist.

Isolatoren und Stützen.

Für die Befestigung der Leitungen auf Querträgern (Traversen), an einfachen Masten und an Rohrständern kommen **Isolatoren** aus Porzellan (Bild 11) zur Verwendung, und zwar

RTI-Isolatoren N 80 für Leitungen bis 25 mm²,
RTI-Isolatoren N 95 für Leitungen bis 95 mm².

Bei Winkelabzweigungen über 25° und bei Endbunden, hauptsächlich wenn A-Maste zur Aufstellung kommen, empfiehlt es sich, nur Schäkelisolatoren (Bild 12) zu verwenden, und zwar

kleine Schäkelisolatoren mit 2 Rillen für Leitungen bis 25 mm²,
große Schäkelisolatoren mit 2 Rillen für Leitungen bis 120 mm².

Die Form der **Stützen** richtet sich nach der Art der Verbindung des Isolators mit dem Stützpunkt. Die geraden Stützen (Bild 13) dienen zur Befestigung auf Querträgern und sind mit Gewindeschaft, Unterlegscheibe und Mutter versehen. An Eck- oder Winkelpunkten benutzt man verstärkte Stützen nach Bild 14. Bei einfachen Holzmasten, die in Flucht stehen, benutzt man die Stützen mit Holzschraubengewinde

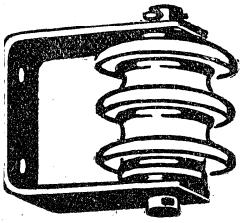


Bild 12. Schäkelisolator.

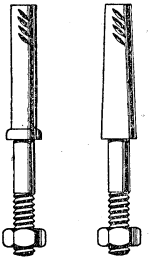


Bild 13. Bild 14.
Grade Isolatorenstütze normal verstärkt.

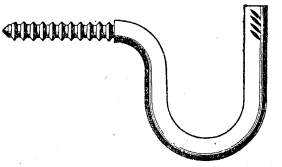


Bild 15.
Gebogene Isolatorenstütze.

nach Bild 15, oder mit Steinlappen versehen, in Mauerwerk einzementiert. Bei einfachen Holzmasten mit Winkelabweichungen bis 25° und Leitungen bis 35 mm², wo Streben oder Anker den Winkelzug aufheben, verwendet man für die auf Leitungszug beanspruchten Stützen solche mit durchgehenden Bolzen und Gegenmutter.

Die Isolatoren sind mit den Stützen fertig verbunden zu beziehen. Werden Isolatoren und Stützen getrennt angeliefert und ist daher die Verbindung auf der Baustelle erforderlich, so sind die Isolatoren auf die Stützen aufzuhanfen oder aufzukitten. Zum Aufhanfen werden die Stützen mit leinölfirnisgetränktem Hanf umwickelt und dann fest in den Isolatorkopf eingeschraubt. Zum Aufkitten der Isolatoren darf nur erprobter Kitt Verwendung finden, der nicht treibt.

Leitungsweg. Errichtung der Stützpunkte.

Vor Inangriffnahme des Baues muß der **Leitungsweg** festgelegt werden. Die einzelnen Standorte der Masten werden durch Holzpflöcke gekennzeichnet. Bei Festlegung der Stützpunkte ist darauf zu achten, daß die Masten möglichst auf Grundstückgrenzen gestellt werden, damit ein Überspannen fremder Grundstücke vermie-

den wird. Weiter ist es erforderlich, daß noch vor Baubeginn die Genehmigung der Grundeigentümer, der Wegeunterhaltungspflichtigen, der Anlieger und der in Frage kommenden Behörden wie Post-, Eisenbahn-, Wasserstraßenverwaltung usw. eingeholt wird.

An den bezeichneten und genehmigten Stellen werden die **Mastlöcher** mittels Spaten ausgehoben. Die Tiefe der Löcher richtet sich nach der Beschaffenheit des Bodens und der Länge der zur Verwendung gelangenden Masten. Sie soll bei ebenem, trokkenem und gewachsenem Boden wenigstens ein Sechstel der Mastlänge, jedoch nicht weniger als 1,6 m betragen. Diese Mastlöcher werden zweckmäßig in den Abmessungen nach Bild 16 treppenartig gegraben, so daß sie an der tiefsten Stelle nicht viel größer sind als der Umfang des Mastendes. Es empfiehlt sich, täglich nur soviel Mastlöcher herzustellen, als an einem Tage Masten gesetzt werden können. Mastlöcher, die offen bleiben, müssen den polizeilichen Vorschriften entsprechend über Nacht mit Brettern abgedeckt werden.

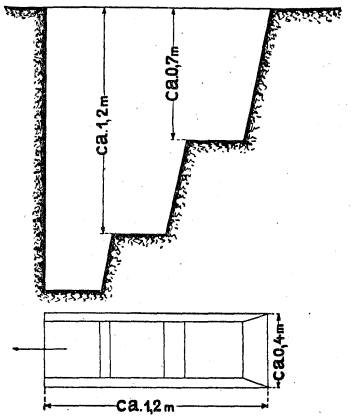


Bild 16. Gegrabenes Erdloch zur Aufstellung eines Holzmastes. (Die senkrechte Fläche soll den Zug des Mastes aufnehmen.)

Noch vor dem Aufstellen der Masten werden diese mit der erforderlichen Anzahl von Isolatoren versehen. Der Mast wird zu diesem Zweck mit dem Zopfende auf einen kleinen Gabelblock (Bild 17) gelegt, um das Bohren der Löcher und das Einschrauben der Isolatoren zu erleichtern. Die Isolatorenlöcher werden mittels Holzbohrer auf etwa Dreiviertellänge der Holzschraube vorgebohrt. Die Stärke des Bohrers ist etwas schwächer als die Stärke der Holzschraube zu wählen. Bei dem Bohren der Löcher ist darauf zu achten, daß sie genau senkrecht zur Mastachse stehen, damit die eingeschraubten Isolatoren parallel zur Mastachse zu sitzen kommen. In die vorgebohrten Löcher sind die Stützen so tief einzuschrauben, daß der mit Holzgewinde versehene Teil der Stützen vollkommen im Holz sitzt. Der oberste Isolator wird etwa 100 bis 150 mm vom Zopfende entfernt eingeschraubt. Zum Eindrehen der Isolatoren bedient man sich zweckmäßig eines geeigneten Eisenhebels, mit dem gleichzeitig auch das Richten der Isolatoren erfolgen kann (siehe Bild 17). Die zweckmäßige Anordnung der Isolatoren geht aus den Bildern 18—21 hervor.

Vor dem **Aufrichten des Mastes** setzt man gegen die senkrecht abgegrabene Seite des Loches ein Brett oder ein halbkreisförmiges Rutschblech. Dann wird der Mast so mit seinem unteren Stammende gegen das Brett über das Loch gelegt, daß er beim Anheben des Zopfendes an dem Brett entlang in das Loch hineingleitet. Dieser Vorgang wird wesentlich erleichtert, wenn ein Mann mit einem Riegel von der schmalen Seite aus, an der das Brett eingesetzt ist, auf das untere Stammende drückt. Zum weiteren Aufrichten des Mastes bedient man sich zweier scherenartig mit einem Seilstück verbundener Stangen (Bild 22). Ist der Mast aufgerichtet, so wird das Brett aus dem Loch entfernt und der Mast durch Drehen um seine Achse in die richtige Isolatorenstellung gebracht. Die lotrechte Stellung wird sowohl in der Richtung des



Bild 17. Einschrauben der Isolatoren.

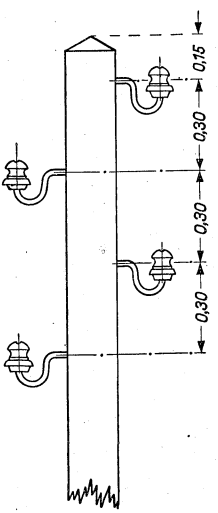


Bild 18.
Einfacher Mast mit Isolatoren N 95.

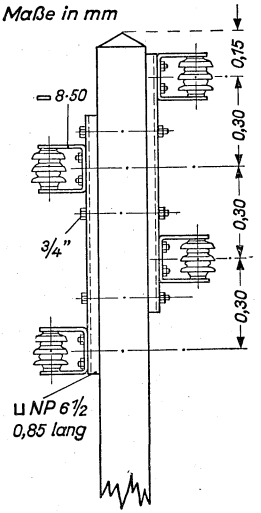


Bild 19.
Einfacher Mast mit Schäkelisolatoren.

Flacheisen bei kleinen Schäkelisolatoren 5×40 mm,
Flacheisen bei großen Schäkelisolatoren 8×50 mm.

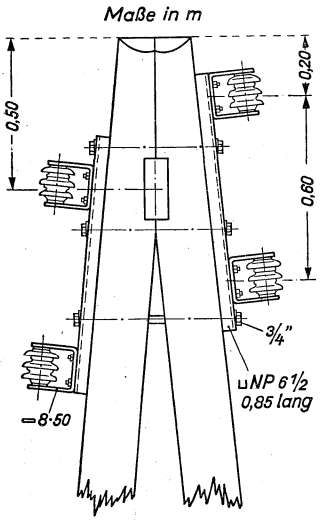


Bild 20.
A-Mast 17/19 an Zopfstärke mit 4 großen Schäkelisolatoren.

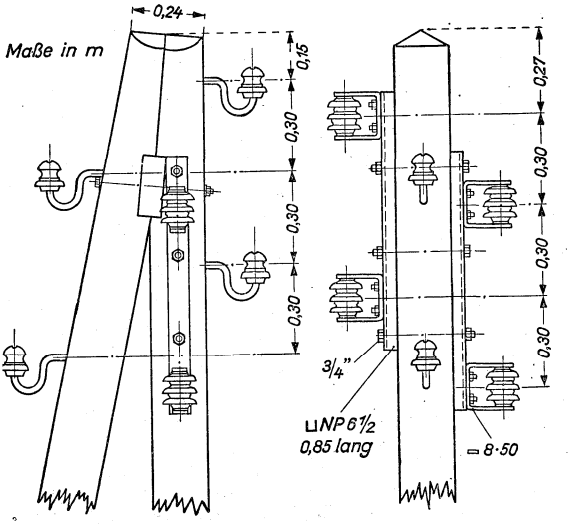


Bild 21.
Bockmast 17/19 cm an Zopfstärke mit Isolatoren N 95 in Leitungsrichtung und großen Schäkelisolatoren für den Abzweig.

Leitungszuges als auch senkrecht dazu mit einem Senklot geprüft (Bild 23). Dabei wird der Mast durch Stangen, die mit eisernen Spitzen versehen sind, gehalten. Das Wiederauffüllen des ausgehobenen Erdreiches erfolgt dann schichtweise und unter fortgesetztem Feststampfen der eingebrachten Erde. Dabei werden die beim Ausheben des

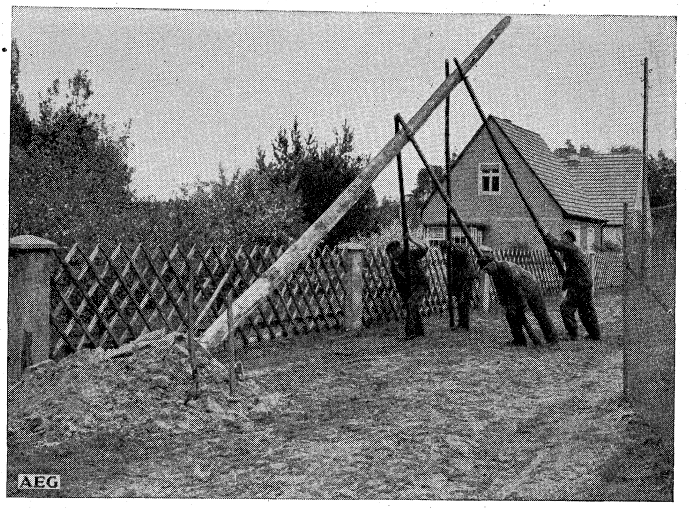


Bild 22. Aufrichten des Mastes.

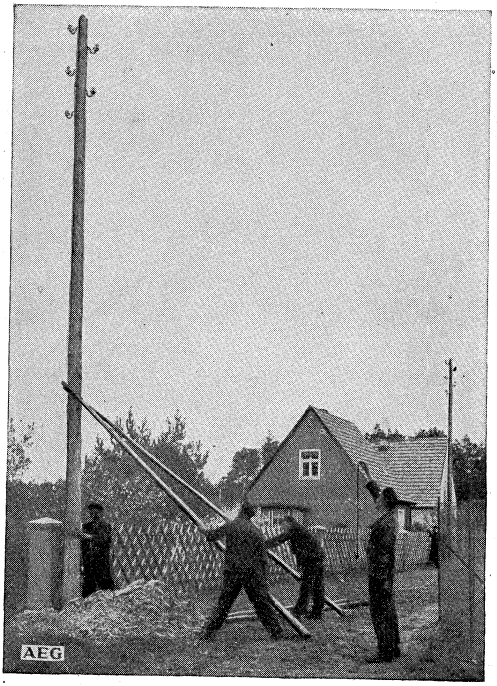


Bild 23. Ausrichten des Mastes mit dem Senklot.

Mastloches etwa gewonnenen Steine zum Ausfüllen des Loches mitverwendet. Einschlemmen mit Wasser macht den Mast standfester.

Auslegen, Aufbringen und Spannen der Drähte.

Mit der Verteilung und dem Auslegen der Leitungen soll erst begonnen werden, nachdem die Masten aufgestellt, die Ausleger oder Rohrständer angebracht und mit Isolatoren versehen sind. Die Verstrebungen und Verankerungen sollen ausnahmslos fertiggestellt sein, bevor die Leitungsdrähte aufgelegt werden.

Um Drahtdiebstähle und Beschädigungen der Leitungsdrähte zu vermeiden, wird nur soviel an Länge ausgerollt, als jeweils für eine Tagesarbeit gebraucht wird.

Die Leitungsdrähte werden in der Regel auf Trommeln angeliefert, kleinere Mengen oder schwache Querschnitte auch in Ringen. Bei Beförderung ist streng darauf zu achten, daß die Leitungen nicht beschädigt werden. Zum Abrollen des Drahtes werden die Trommeln

auf Böcke gesetzt (Bild 24), Ringe auf Haspel (Bild 25). Um eine zu schnelle Drehung zu verhindern, ist eine sicher wirkende Bremsvorrichtung anzubringen. Beim Abrollen darf der Draht niemals am Boden schleifen, und es dürfen sich keine Schlingen, Knoten, Schlaufen o. dgl. bilden, weil sonst leicht Veranlassung zu späteren Drahtbrüchen gegeben wäre. Beim Kreuzen von Wegen muß darauf geachtet werden, daß die Leitungen nicht durch Fuhrwerke oder Tritte von Zugtieren Schaden leiden.

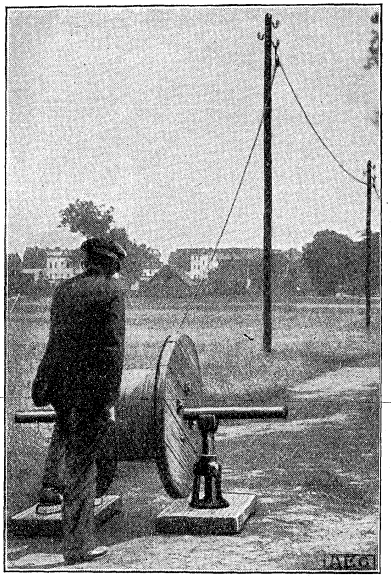


Bild 24. Drahttrommel auf Windeböcken; Bremsholz unter der linken Wange.

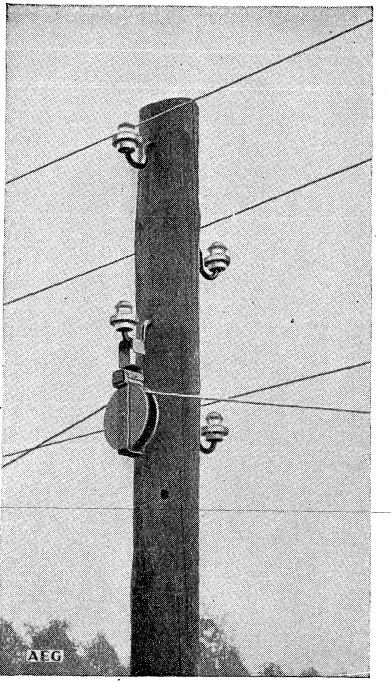


Bild 26. Führungsrolle in die Isolatorstütze eingehängt.

Um den Draht stets vom Boden fernzuhalten, führt man ihn über Rollen, die in die Isolatorenstützen eingehängt werden (Bild 26) und auf Kugellagern laufen. Diese Vorsicht ist besonders bei Aluminiumseilen wegen der geringen Oberflächenhärte geboten. Die Rollen müssen aus Holz oder Aluminium hergestellt und so ausgebildet sein, daß das Seil beim Spannen der Leitung nicht herausgleiten kann. Auch ist es zu empfehlen, die vom Seil berührten Stellen der Rolle vor dem Einlegen des Seiles mit Vaseline zu fetten.

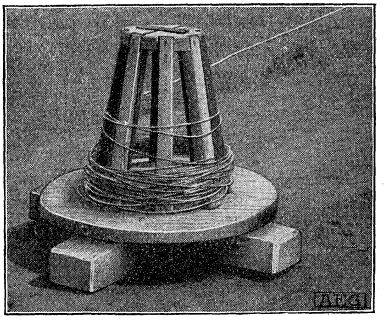


Bild 25. Drahtring auf einem Haspel.

Nachdem die Seile aufgelegt und durch Endbunde auf der einen Seite an den Isolatoren befestigt sind, werden die Leitungen auf der anderen Seite durch Flaschenzüge gespannt, wobei noch die ganze Leitungsstrecke in den Rollen ruhen soll.

Das Al-Seil ist auf jeden Fall vor Oberflächenverletzungen zu schützen; deshalb sind nur Seilspannklemmen mit großer Auflagefläche (Bild 27) zu verwenden, bei denen ein Rutschen oder eine Beschädigung des Seiles nicht möglich ist. Bei Kupferleitungen kann auch die sogenannte Froschklemme Verwendung finden.

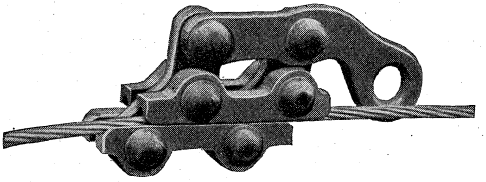


Bild 27. Seilspannklemme für Al-Seile.

Den Nulleiter verlegt man meistens unterhalb der Phasenleiter. Er kann aber auch oberhalb verlegt werden. Auf jeden Fall ist darauf zu achten, daß der Nulleiter eines geschlossenen Netzes entweder nur oben oder nur unten verlegt wird. Außerdem ist die Kennzeichnung durch Einhängen eines S-förmigen Hakens in der Stütze am Anfang und Ende der Leitung sowie bei Abzweigen erforderlich.

Beim Spannen der Leitungen ist darauf zu achten, daß die Leitungen nicht überzogen, d. h. überbeansprucht werden. Dazu muß der richtige Durchhang eingehalten werden, welcher sich aus den nachstehenden Tafeln 15 und 16, je nach der Entfernung der Stützpunkte, dem Querschnitt der Leitung und der Temperatur, ergibt.

Tafel 15. Durchhang in cm bei Aluminiumseilen in Abhängigkeit von Spannweite und Temperatur[1])

Querschnitt des Al-Seiles	Leitungszug kg/mm²	Spannweite in m	—10°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°
25 mm	5,5	30	10	15	23	33	42	50
		40	34	46	57	67	76	84
		50	79	90	101	111	120	128
		60	134	145	155	164	173	182
35 mm	5,5	30	8	11	16	25	35	43
		40	19	28	40	51	62	71
		50	48	61	74	86	97	107
		60	91	105	117	129	140	150
50 mm	5,5	30	8	10	16	25	34	43
		40	14	19	28	40	51	62
		50	29	40	53	67	79	91
		60	56	71	86	101	114	125
70 mm	4,5	30	10	14	23	32	41	49
		40	18	27	38	50	60	70
		50	39	52	66	78	90	100
		60	71	86	101	114	125	137
95 mm	3,8	30	12	19	28	37	46	53
		40	21	32	43	55	65	74

Zwecks Prüfung des Durchhanges wird bei Aluminiumleitungen der in den Tafeln angegebene Wert an den Masten angezeichnet; dann wird die Leitung so weit angespannt, bis der tiefste Punkt des Drahtbogens in die Visierlinie über die beiden an den Masten aufgetragenen Marken fällt (Bild 28). Aus Gründen des guten Aussehens spannt man die kleineren Querschnitte straffer als die größeren, ohne jedoch die Werte der Tafeln 15 und 16, welche die gebräuchlichsten Durchhänge wiedergeben, zu unterschreiten.

Tafel 16. Durchhang in cm bei Kupferseilen in Abhängigkeit von Spannweite und Temperatur[1]).

Querschnitt des Cu-Seiles	Leitungszug in kg/mm²	Spannweite in m	−10°	+0°	+10°	+20°	+30°	+40°
25 mm²	8	20	8	11	15	20	25	29
		30	21	27	33	40	45	51
		40	48	55	63	70	76	82
		50	86	94	101	108	115	121
		60	133	141	149	156	163	169
35 mm²	8	20	8	11	15	20	25	29
		30	17	22	29	35	41	47
		40	38	46	54	61	68	74
		50	69	78	86	91	101	108
		60	109	118	126	134	142	149
50 mm²	8	20	8	11	15	20	25	29
		30	16	21	27	34	40	45
		40	31	38	46	53	60	67
		50	56	64	73	81	89	96
		60	88	98	107	116	125	133
70 mm²	8	20	8	11	15	20	25	29
		30	16	21	27	34	40	45
		40	28	34	42	50	57	65
		50	48	56	65	74	82	91
95 mm²	8	20	8	11	15	20	25	29
		30	16	21	28	34	40	46
		40	28	35	43	51	58	65
		50	44	52	61	70	79	87

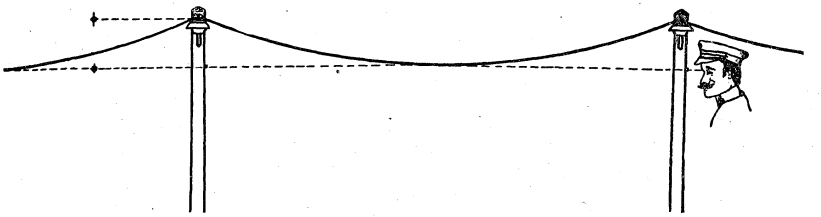


Bild 28. Prüfung des Durchhanges von Freileitungen.

Sind mehrere Leitungen von gleichem Querschnitt neben- und untereinander zu verlegen, so prüft man zunächst den Durchhang der obersten Leitung, dann kann man bei einiger Übung die anderen Leitungen nach dem Augenmaß mit gleichem Durchhang spannen. Werden Leitungen verschiedener Querschnitte an dem gleichen Gestänge geführt, so gibt man ihnen den gleichen Durchhang, nämlich den der stärkeren Leitung. Werden Kupfer- und Aluminiumleitungen am gleichen Gestänge geführt, so ist es ratsam, die Kupferleitungen unter die Aluminiumleitungen zu verlegen.

[1]) Die Durchhangstafeln für die zulässigen Leitungszüge beim Freileitungsbau für Kupfer- und Aluminiumleitungen können vom Verlag M. Jaeger, Berlin N 31, Brunnenstraße 106a, bezogen werden.

Befestigen der Drähte und Herstellung der Verbindungen.

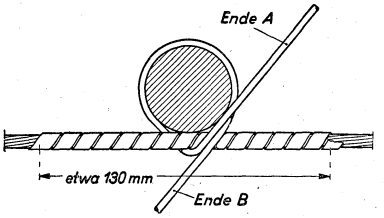


Bild 29a.

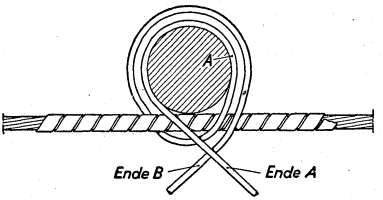


Bild 29b.

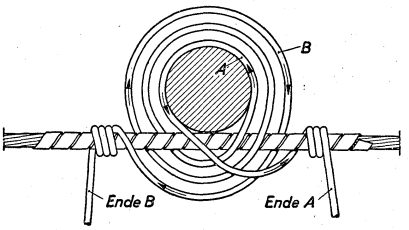


Bild 29c.

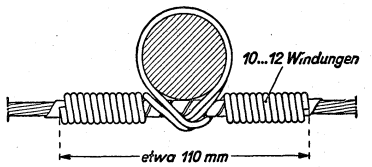


Bild 29d.

Der Deutlichkeit wegen sind die Bindewindungen nebeneinander gezeichnet.

Bild 29. Normaler Kreuzbund.

Die Befestigung der Leitungen wird durch Halsbunde hergestellt; Kopfbunde sind nicht mehr zulässig. Die Bilder 29a bis d zeigen den normalen Kreuzbund, der für Leitungen bis 70 mm² angewendet wird.

Beim Abbinden von Aluminiumleitungen wird zunächst eine Wickelbandage aus weichem Aluminiumband von 10 mm Breite und 1 mm Stärke mit abgerundeten Kanten aufgelegt. Das Band muß fest am Seil anliegen und mit einem Zwischenraum von etwa 1 mm von Kante zu Kante gewickelt werden. Die Länge der Bandage ist so zu bemessen, daß die Bandenden nicht mehr als eine Windung über die später aufzulegenden Wickelbunde vorstehen. Die Bundstelle ist vor und nach Anlegung der Bandage einzufetten.

Das Umlegen des Bindedrahtes am Isolator geschieht in der bildlich dargestellten Weise. Er muß straff am Wickelband und Isolator anliegen und mit wenigstens 10 bis 12 eng aneinander liegenden Windungen auslaufen.

Für Kupferleitungen bleibt die Wickelbandage fort. Der Bindedraht soll stets aus demselben Werkstoff bestehen wie die Leitung selbst. Man verwendet folgende Stärken der Bindedrähte:

für Leitungen aus	Querschnitt mm²	Binde-draht mm²	Bund	für Leitungen aus	Querschnitt mm²	Binde-draht mm²	Bund
Kupfer	25 u. 35	6	dreifach	Aluminium	25 u. 35	10	dreifach
Kupfer	50 u. 70	10	dreifach	Aluminium	50 u. 70	10	vierfach
Kupfer	95 u. 120	10	vierfach	Aluminium	95 u. 120	10	verstärkt

Dabei ist zu beachten, daß Aluminiumleitungen im allgemeinen eine zuverlässigere Befestigung verlangen als Kupferleitungen. Daher wendet man auf längeren geraden Strecken mit einheitlich glatt durchgeführten Leitungen auch Bügelbunde an. In Ortsnetzbauten mit vielgestaltigen Tragpunkten und vielen Abzweigen verwendet man an besonders wichtigen Stellen den verstärkten Kreuzbund.

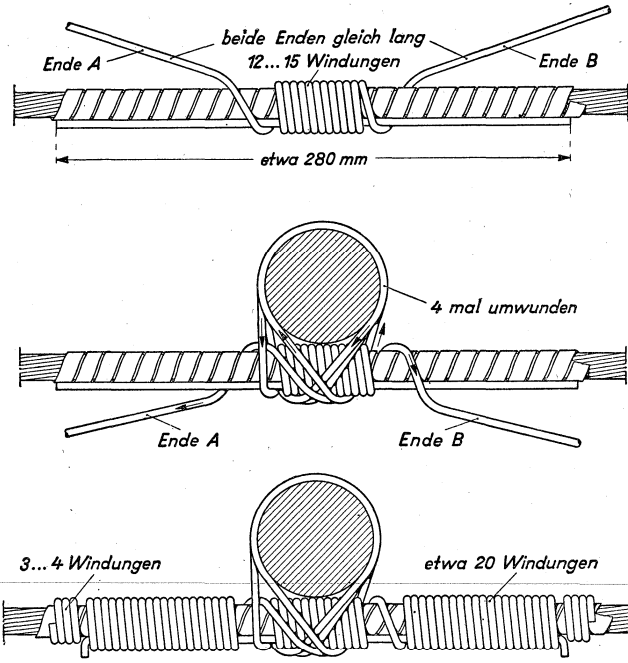


Bild 30a.

Bild 30b.

Bild 30c.

Bild 30. Verstärkter Kreuzbund.

Zur Versteifung wird ein Beidraht auf die Wickelbandage parallel zum Leitungsseil gelegt. Bei- und Bindedraht ist weicher Aluminiumdraht von 10 mm² Querschnitt. Zunächst werden an der Anliegestelle 12—15 Windungen um Leitung und Beidraht gewunden, und zwar in entgegengesetzter Richtung wie das Bandagenband (Bild 30a). Nach Umschlingen des Isolators und der Anliegestelle entsprechend Bild 30b werden die freien Enden A—B des Bindedrahtes in je 20 Windungen umgelegt, und zwar ebenfalls in entgegengesetzter Wickelrichtung wie das Bandagenband. Die überstehenden Enden des Beidrahtes werden hochgebogen und abgezwickt. Die noch freien Enden des Bindedrahtes werden zum Schluß allein um die Wickelbandage gewunden (Bild 30c). Jeder Bund wird nach Fertigstellung gut eingefettet.

Wird zur Herstellung von Isolatorenbunden der Mast mittels Steigeisen bestiegen, so muß der die Arbeit Ausführende einen Sicherheitsgürtel anlegen, mit dem er sich, oben am Mast

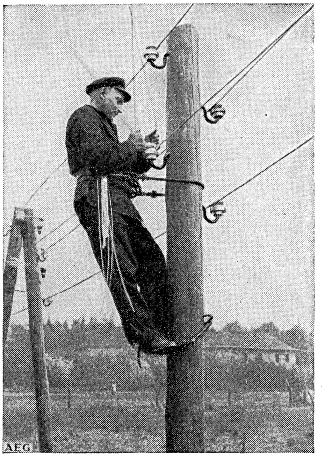


Bild 31. Besteigen des Mastes mittels Steigeisen und Sicherung gegen Herabfallen

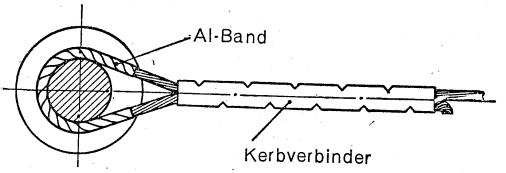


Bild 32.
Endbund eines Al-Seiles mittels Kerbverbinder aus Al.

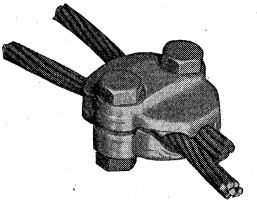


Bild 33.
Endbundklemme aus Al für Al-Seile.

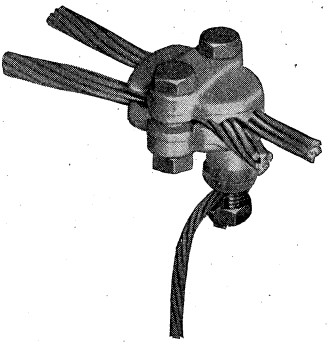


Bild 34. Endbundklemme für Al-Seile aus Al mit Anschlußklemme für eine Cu-Leitung.

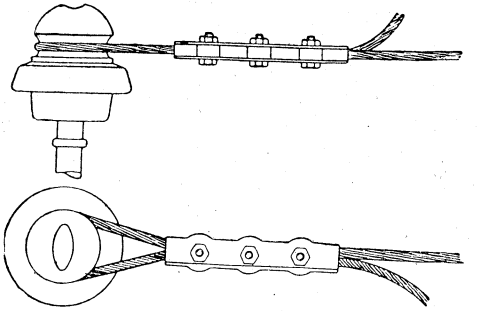


Bild 35.
Endbund eines Al-Seiles mittels Schraubverbinder aus Al.

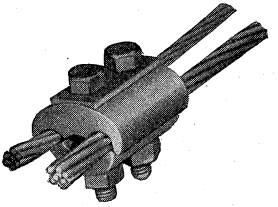


Bild 36. Abzweigklemme aus Al mit zwei Stahlschrauben.

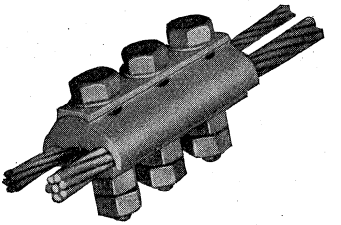


Bild 37. Abzweigklemme aus Al mit drei Stahlschrauben.

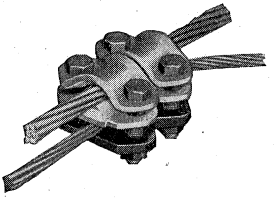


Bild 38. Al-Cu-Schellenklemme.

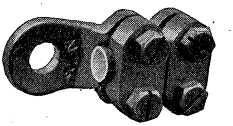


Bild 39.
Klemmkabelschuh mit Cupalhülse.

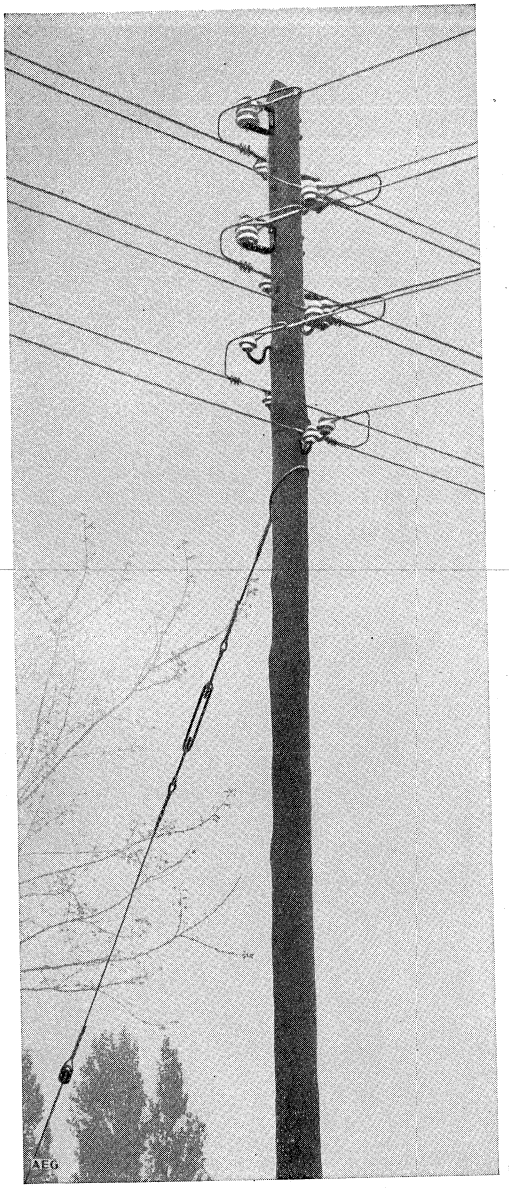


Bild 40. Abspannmast mit durchgehender Leitung auf Isolatoren N 95 und Schäkelisolatoren für den Abzweig mit Abzweigklemmen für die Al-Seilleitungen.

angekommen, zuverlässig gegen Herunterfallen zu sichern hat.

Vor Herstellung aller Verbindungen durch Klemmen, Kerb-, Niet- oder Schraubenverbinder sind bei Al sämtliche Klemmstellen mit einer feinen Stahlbürste oder Sandpapier blankzumachen und nach Fertigstellung einzufetten.

Bei allen auf Zug beanspruchten Verbindungen im Leitungsfeld wie auch bei Endbunden sind Kerb- oder Nietverbinder erforderlich (Bild 32). Die Endbunde bei Al-Leitungen können auch mit Endbund-Klemmen versehen werden (Bild 33 und 34). Bei Bahnkreuzungen werden für Herstellung der Endbunde Schraubenverbinder verlangt. Im Kreuzungsfeld selbst dürfen keine Leitungsverbinder vorhanden sein (Bild 35).

Für nicht zugfeste Verbindungen der Aluminiumleitungen verwendet man bei Abzweigen und Kreuzungen am Leitungsmast Abzweigklemmen aus Reinaluminium mit drei verzinkten Schrauben und Muttern aus Stahl (Bild 36 und 37), dagegen für Kupferleitungen die gleichen Klemmen aus Kupfer mit nur zwei Siliziumbronzeschrauben und Gegenmuttern. Für Verbindungen von Al- mit Cu-Leitungen kommt die Al-Cu-Doppelschellenklemme zur Anwendung (Bild 38). Diese und ähnliche Klemmen (Bild 39) werden so gesetzt, daß die Feuchtigkeit von Al auf Cu abfließt, und nicht umgekehrt. Würgebunde sowie Löt- und Spleißverbindungen sind unzulässig.

Anwendungsbeispiele für die beschriebenen Verbindungen zeigen die Bilder 40...43.

Mastenschalter, Überspannungsschutz, Erdungen.

Zur Abtrennung einzelner Netzteile, insbesondere längerer Ausläufer, baut man zweckmäßig einpolige **Trennschalter** für 200 A in

die einzelnen Phasen am Mast ein (Bild 42). Die Trennschalter können auch mit Sicherungen versehen werden. Als Schaltstange verwendet man ein- oder mehrteiliges Bambusrohr von etwa 6 m Länge.

Der **Überspannungsschutz** erfolgt durch Ionenableiter (Bild 43) und soll in allen Freileitungs-Stromkreisen, die vom Kraftwerk oder dem Umspannungshaus abgehen, eingebaut werden. Jede Freileitungsstrecke von mehr als 300 m Länge soll am Anfang geschützt werden, längere Strecken am Anfang und am Ende. Sonst wird auf je 2000 m Streckenlänge ein Ionenableiter eingebaut. Abzweige von mehr als 300 m Länge erhalten einen besonderen Ionenableiter am Ende.

Auch bei der Kabelausführung aus dem Werk muß beim Übergang vom Kabel auf Freileitung am Kabelausführungsmast der Überspannungsschutz vorhanden sein.

Der Überspannungsschutz wird für jede Phase und für jeden Schaltdraht für Straßenbeleuch-

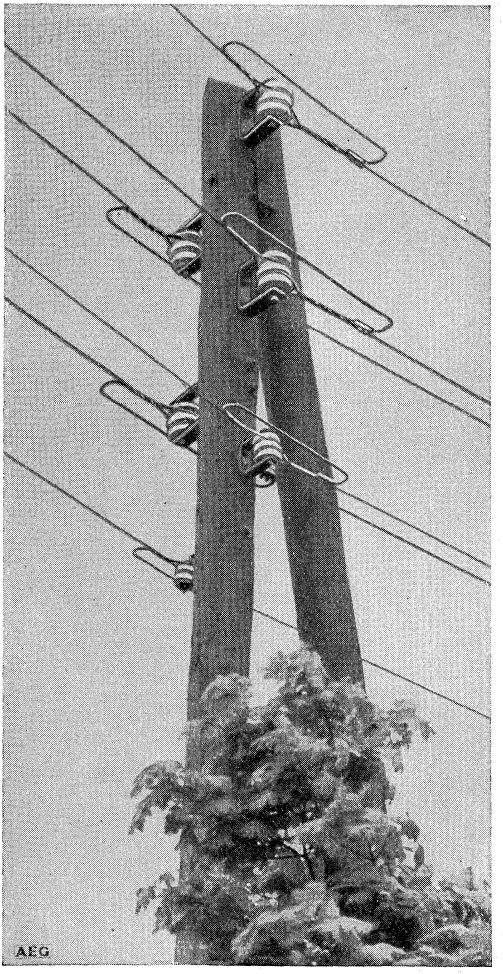


Bild 41. A-Mast mit Schäkelisolatoren und Übergang von der ankommenden zur abgehenden Leitung mittels Al-Abzweigklemmen.

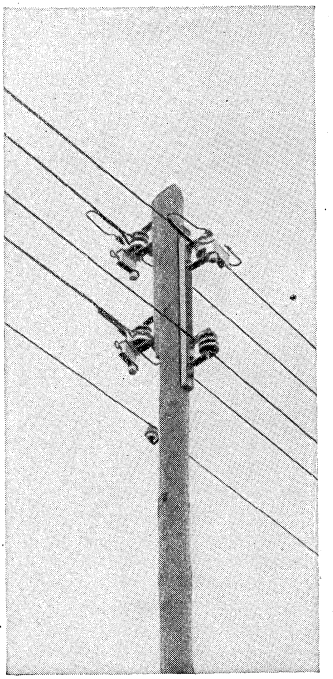


Bild 42.
Freileitung
mit eingebauten Trennschaltern.

tung eingebaut. Der Nulleiter erhält keine Ionenableiter. Im Dreileiternetz ist der Überspannungsschutz zu erden und im Vierleiternetz zu erden und zu nullen.

Führen zwei Stromkreise nach einem Stützpunkt, so genügt für den Überspannungsschutz eine Erdung.

Über die Zahl und die Ausführung von Erdungen haben die Elt-Werke eigene Erfahrungen und Wünsche, diese sind bei der Herstellung der Erdungen zu beachten.

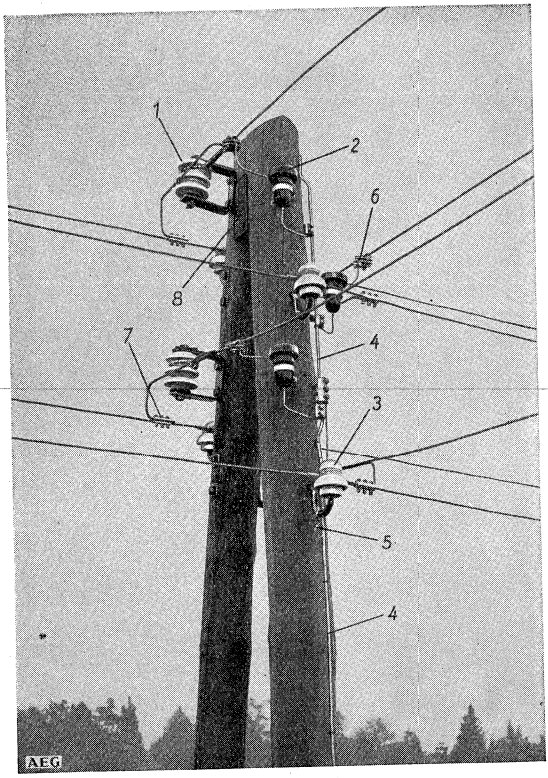


Bild 43. A-Mast mit Ionenableitern.

1. Schäkelisolator. 2. Ionenableiter. 3. Isolator N 95. 4. Erdungsseil. 5. S-Haken zur Kennzeichnung des Nulleiters. 6. Al-Cu-Schellenklemme für den Anschluß des Ionenableiters. 7. Al-Abzweigklemme. 8. Hartholzklotz.

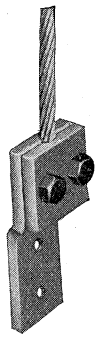


Bild 44. Erdungsprüfklemme.

Als **Erder** verlegt man vorwiegend verzinktes Bandeisen 30 × 3 mm in eine gutleitende Bodenschicht, und zwar 0,30 .... 0,60 m tief. Ferner können verwendet werden verzinkte Eisenrohre von 2....2½" l.W. in Längen von 2,5 .... 5 m und verzinkte Eisenstangen von 25 mm Durchmesser von gleicher Länge. Sind mehrere Rohre oder Stangen erforderlich, um einen genügend kleinen Erdwiderstand zu erhalten, so ist für die einzelnen Rohre ein Abstand von 3....4 m zu empfehlen. Rohre wie Eisenstangen müssen eine angeschweißte und verzinkte Bandeisenfahne von 30 × 3 mm haben, die etwa 4 m lang sein muß.

Die Hochführung der Erdleitung am Mast kann mit verzinktem Bandeisen von 30 × 3 mm oder verzinktem Stahlseil von 50 mm² ausgeführt werden (Bild 43).

Um den Erdungswiderstand leicht messen zu können, muß etwa 1,60 m über dem Erdboden eine Erdungsprüfklemme angebracht werden (Bild 44). Zum Schutze der Erdleitung über dem Erdboden ist am Mast eine durchtränkte Holzleiste von etwa 1,50 m Länge erforderlich.

III. Behandlung der Anschlüsse bei Aluminiumleitern.

Schraub- und Klemmverbindungen.

Da sich eine metallisch reine Oberfläche bei Aluminium an der Luft sofort mit einer nicht leitenden, zunächst nicht sichtbaren Oxydhaut überzieht, so eignet sich Al nur nach besonderer Vorbereitung und unter besonderen Maßnahmen für Schraub- und Klemmverbindungen. Es kommt hinzu, daß Al unter dem Anpreßdruck nachträglich nachgibt, so daß ein Nachziehen der Schrauben erforderlich ist und möglichst federnde Zwischenglieder (Federung, Stahlfederbügel) verwendet werden sollen.

Die Schraubverbindungen von Al-Flachschienen sind im Abschnitt „Schaltanlagen" Seite 148, die Anschlüsse der Al-Leitungen für Schalter und Dosen in Lichtanlagen, im Abschnitt „Schalt- und Anschlußgeräte" behandelt. Über die Klemm- und Kerbverbindungen im Freileitungsbau ist das Erforderliche vorstehend unter II angegeben.

Schweißverbindungen nach dem Flammenschweißverfahren.

Sind unlösbare Verbindungen von Aluminiumkabeln mit Seilleitern herzustellen, oder sollen Seilleiter aus Al mit Massivenden oder Al-Leiter mit einem Kabelschuh versehen werden, so hat sich hierfür das Schweißverfahren als das sicherste erwiesen. In erster Linie wird das Flammenschweißverfahren verwendet, das unter Benutzung des AEG-Fernholz-Schweißgerätes rasch erlernt werden kann und mit dem jede

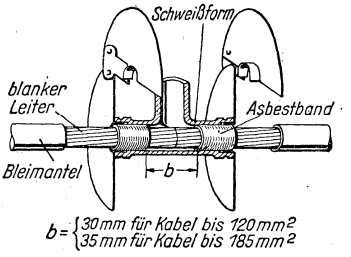


Bild 45. Vorbereitung zum Flammenschweißen in der Form.

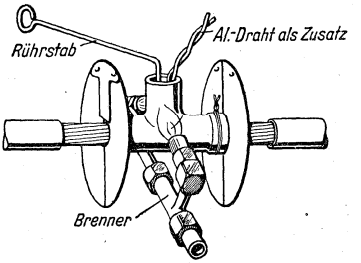


Bild 46. Ausführung der Flammenschweißung.

Schweißverbindung mechanisch und elektrisch einwandfrei auszuführen ist. Fehlschweißungen sind dabei ausgeschlossen. Das Verfahren gestaltet sich je nach Art der vorzunehmenden Schweißung wie folgt:

Muffenverbindungen. Zur Herstellung von Muffenverbindungen zweier Al-Kabel werden zweiteilige eiserne Formen mit Steiger benutzt, die innen mit Kokillenfarbe ausgestrichen werden. Der Mantel und die Isolation der Kabel werden so weit abgesetzt, daß nach dem Schweißen die dem Gerät beigegebenen Kühlbacken aufgesetzt werden können. Die zweiteilige Form wird mit Draht zusammengebunden und Flammenschutzbleche werden aufgesetzt (Bild 45). Die Schweißung erfolgt mit dem Doppelbrenner unter Zusatz von gereinigten Al-Drahtabfällen die mit einem nichthygroskopischen Flußmittel zu bestreichen sind. Die Schweißflamme kommt dabei mit der Schmelze nicht in Berührung, kann also keine Oxyde in diese hineintragen. Verunreinigung in der

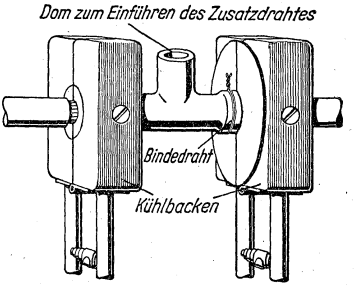


Bild 47. Nach der Schweißung werden sofort die Kühlbacken aufgesetzt.

Schmelze werden mit einem stählernen Rührstab nach oben in das Steigerstück gerührt (Bild 46). Sind die Leiterenden in Fluß übergegangen, so wird der Brenner entfernt, und es werden sofort die Kühlbacken aufgesetzt, um eine Wärmeableitung in das Kabelinnere zu verhüten (Bild 47). Nach dem Entfernen der Kühlbacken und der Gießform wird das Steigerende abgeschnitten.

Bei Muffenabzweigen wird eine Abzweigform benutzt. Die Art der Schweißung bleibt dieselbe.

Sind für Muffenverbindungen von Kabeln Übergänge von Aluminium- auf Kupferleiter herzustellen, so werden hierzu die AEG-Al-Cu-Anschweißenden verwendet (s. Tafel 17), die fertig angeliefert werden. Es ist auf der Baustelle nur die einfache oben beschriebene Schweißverbindung zwischen dem Aluminiumleiter und der Al-Seite des Anschweißendes herzustellen und auf der Cu-Seite die übliche Weichlötung mit der Löthülse auszuführen (Bild 48).

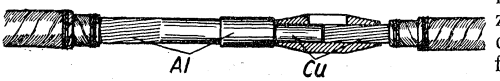
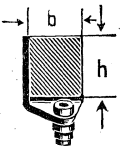
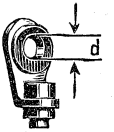
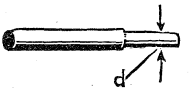


Bild 48. Angeschweißter Al-Cu-Stab für eine Muffenverbindung.

Die in Tafel 17 aufgeführten Anschlußteile werden im Kokillengußverfahren hergestellt, wobei die beiden Werkstoffe legierungsmäßig innig miteinander verbunden werden. Die Cu-Stäbe der Anschweißenden sind so bemessen, daß sie zu allen üblichen konzentrischen Verbindungs- und Anschlußklemmen passen, ebenso auch für den Übergang auf Rund- oder Flachkupfer geeignet sind.

Tafel 17. Anschlußteile für Aluminiumleiter.

Al-Leiterquerschnitt	Al-Großflächenkabelschuhe	Al-Kabelschuhe mit Cu-Anschlußauge (DRGM)	Al-Anschweißenden mit Cu-Anschlußstab
	 Die Befestigungslöcher werden an Ort und Stelle gebohrt	Kupfer  Aluminium	Kupfer  Aluminium
mm²	h×b mm	ø d mm	ø d mm
25	50×50	6,5	4
35			6
50		8,5	8
70	60×60	10,5	
95		10,5	10
120		13,5	12,5
150	80×80		
185		13,5	16
240		13,5	
		17	
300		17	20
400	100×100		
500		—	—
625	100×140	—	—
800		—	—
1000	120×140	—	—

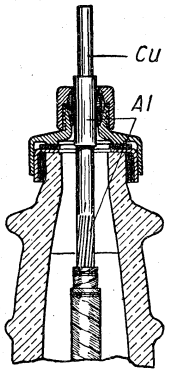


Bild 49.
Verwendung eines Al-Cu-Anschlußstabes in einem Endverschluß.

Bild 49 zeigt die Verwendung eines Al-Cu-Anschlußstabes im Isolatorkopf eines Dreileiter-Innenraumendverschlusses. Für Isoklein-Endverschlüsse werden besondere Al-Cu-Anschweißenden mit Schlauchtülle geliefert (Bild 50).

Erfolgt das Anschweißen an eine senkrechtstehende Leitung, so werden Schweißformen mit schrägem Steiger verwendet. Die Stoßstelle (Seilleiter und Stab) muß auf Mitte Steiger zu liegen kommen, denn an dieser Stelle muß mit dem Rührstab die Schmelze geprüft und Werkstoff zugesetzt werden (Bild 51).

Massivschmelzen von Al-Seilleitern zu Massivenden. Sollen Seilleiter zu Massivenden zusammengeschweißt werden, so wird auf das senkrechtstehende Leiterende eine zweiteilige zylindrische Schmelzform aufgesetzt. Sektorleiter werden vorher rund geformt. Das Aufsetzen von Flammenschutzblech, Anwendung von Zusatzstoff und Rührstab erfolgt wie vorher. Die Formwände heizt man von oben nach unten gehend gleichmäßig, wobei solange Werkstoff zugesetzt wird, bis die Muffe gefüllt ist. Nach Abnahme der Form kann auf das Massivende entweder ein Anschlußteil aufgeschweißt oder nach Bearbeitung mit der Aluminiumfeile und Einfetten mit reiner Vaseline das Ende wie ein massiver Leiter geklemmt werden.

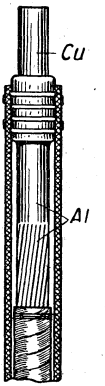


Bild 50.
Al-Cu-Anschlußende für einen Isokleinendverschluß.

Aufschweißen von Kabelschuhen. Eine häufig vorkommende Arbeit ist das Anbringen von Kabelschuhen auf das Leiterende, das ebenfalls am sichersten durch das Flammenschweißverfahren erfolgt.

Sollen Kabelschuhe auf einem Seilleiter aufgeschweißt werden, dessen Einzeldrähte einen Durchmesser von weniger als 1 mm haben, so ist es empfehlenswert, vorher das Seilende massiv zu schweißen. Sind Al-Kabel an Sammelschienen oder Geräte mit großen Kontaktflächen anzuschließen, so werden sie mit Al-Großflächen-Kabelschuhen versehen (s. Tafel 17).

Die Al-Kabelschuhe der AEG sind abgekröpft und ermöglichen dadurch die sehr einfache und übersichtliche Stirnschweißung. Die Schmelze läßt sich jederzeit übersehen und eine einwandfreie Schweißstelle ohne Lunker und Oxydeinschlüsse erreichen. Bei einer Zerreißprobe reißen die Drähte nicht aus der Schweißstelle heraus, sondern weit darunter (Bild 52).

Der Schweißvorgang wird im folgenden ausführlicher bei der Aufschweißung von

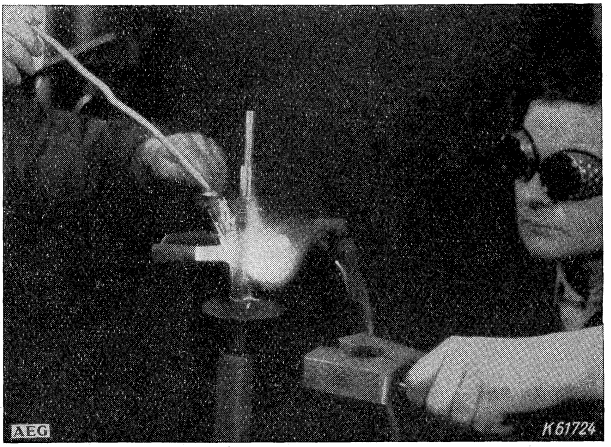


Bild 51. Anschweißen des Anschlußstabes an einen senkrecht stehenden Leiter mittels einer Form mit schrägem Steiger.

Al-Kabelschuhen mit Kupferanschlußauge (Tafel 17) erläutert, die dann verwendet werden, wenn Al-Leitungen an Kupfer-Sammelschienen oder an Geräte mit Kupfer- oder Messing-Kontakten angeschlossen werden sollen. Die Abmessungen dieser Kabelschuhe sind kaum größer als die der genormten Kupfer- oder Messing-Kabelschuhe. Sie ermöglichen den Anschluß von Al-Kabeln auch dort, wo Bolzen und Anschlußflächen nur für den Anschluß von Cu-Kabeln vorgesehen sind und Al-Kabelschuhe zu groß sein würden. Federnde Unterlegscheiben und Schrauben erhöhter Festigkeit, wie sie für Al-Schraubverbindungen erforderlich sind, werden hierbei überflüssig.

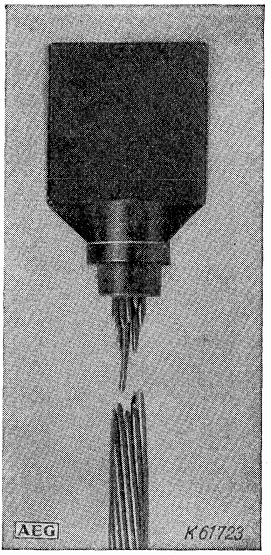
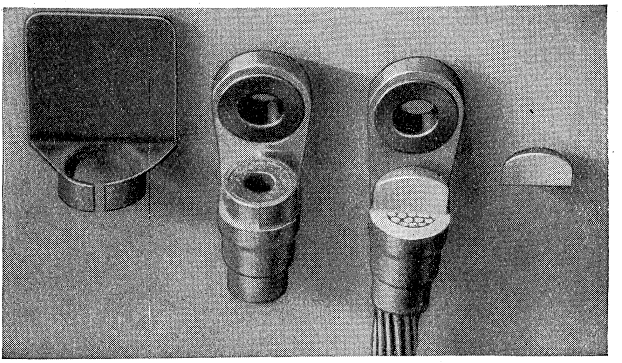


Bild 52.
Bei der Zerreißprobe reißt das Seil, nicht die Schweißstelle.

Der Schweißvorgang ist folgender:

Der Leiter wird so weit abisoliert, daß zwischen dem unteren Rand des Kabelschuhes und der Isolation ein entsprechender Raum für das Aufsetzen der Kühlbakken verbleibt. Auf den Schweißansatz des Kabelschuhes wird die mit einem Flammenschutzblech versehene Schweißform aufgesetzt (Bild 53). Es ist darauf zu achten, daß ein Kabelschuh gewählt wird, dessen Bohrung durch das Leiterende gut ausgefüllt ist. Sektorleiter müssen vorher rund geformt werden (Bild 54, 1 und 2). Der Kabelschuh wird so aufgesetzt, daß Schmelzform, Schweißansatz und Seilleiter oben eine Ebene bilden. Überstehende Drähte, ein zu tiefes Sitzen des Leiters sowie eine zu hohe Schweißform sind zu vermeiden (Bild 54, 3 und 4). Es wird dann von oben mit dem Spitzbrenner geschweißt, und zwar mit sauerstoffarmer Flamme, um die Al-Oxydbildung möglichst zu verhindern. Es soll sich beim Schmelzen eine Kuppe über der Schweißstelle bilden (Bild 55). Die richtige Einführung des Zusatzwerkstoffes ist aus Bild 57 zu entnehmen.

Es ist empfehlenswert, zum Schutz der Isolation vor Beginn des Schweißens auf die Isolation ein Flammenschutzblech oder eine Asbestpappenscheibe aufzulegen, ferner sind sofort nach Beendigung des Schweißvorganges die Kühlbacken aufzusetzen. Bild 53 zeigt die fertige Schweißung aufgeschnitten. Man erkennt, daß die Drähte mit dem Schweißansatz fest verschweißt sind. Ein Ausfüllen der Bohrung des Kabelschuhes auf ihrer ganzen Länge ist nicht erforderlich, so daß die Schweißung sehr rasch ausgeführt werden kann. Nach dem Aufschweißen ist die freiliegende Übergangsstelle zwischen Al und Cu mit einem Schutzanstrich aus



Schweißform mit Flammenschutzblech. | Kabelschuh mit Schweißansatz und Cu-Anschlußauge. | Fertig aufgeschweißter Kabelschuh (Schweißansatz zur Hälfte abgeschnitten).

Bild 53. Aufschweißen eines Kabelschuhes.

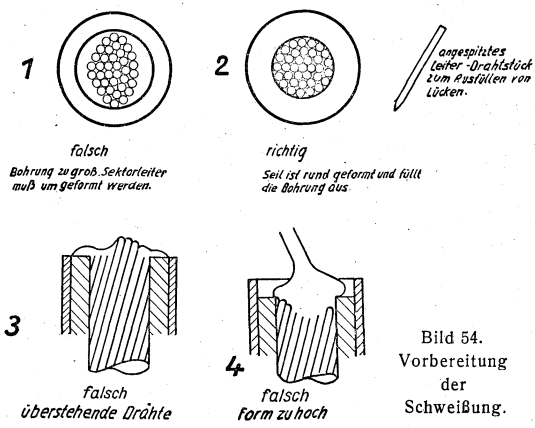


Bild 54. Vorbereitung der Schweißung.

Chlorkautschuklack oder dergleichen zu versehen.

Soll das Kabelende mit einem Isoklein-Endverschluß versehen und an Cu oder Messing angeschlossen werden, so kann ein Al-Cu-Kabelschuh mit Flansch verwendet werden (Bild 56). Vor Beginn der Schweißung wird die an den Kabelschuh anzuschraubende Schlauchtülle so weit in den Isolierschlauch geschoben, daß zwischen den beiden Flanschen Raum für das Aufsetzen der Kühlbacken verbleibt. Das Schweißen erfolgt wie oben beschrieben.

Das Gießschweißverfahren.

Das Gießschweißverfahren empfiehlt sich nur dort, wo eine große Anzahl von Al-Kabeln größerer Querschnitte zu verbinden ist, da es größerer Vorbereitungen bedarf. Das Al wird im Holzkohlenofen mit Schamotteeinsatz in den üblichen Graphittiegeln von 6 kg Inhalt, ausreichend für Querschnitte bis 300 mm², für große Querschnitte mit 10 kg Inhalt geschmolzen. Verwendet werden Al-Abfälle z. B. gereinigte Leiterreste. Der Tiegel wird mit der Tiegelzange (Bild 58) in den Ofen eingesetzt und beim Gießen mit dem Gießring (Bild 59) gehalten. Zum Schutz sind Asbesthandschuhe, -gamaschen und -schürzen anzulegen.

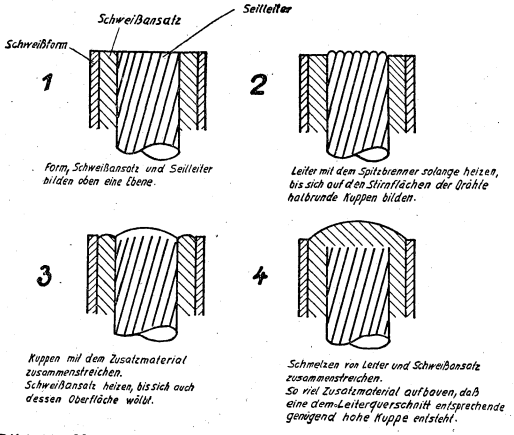


Bild 55. Verschweißen des Seilleiters mit dem Kabelschuh.

Das Aufsetzen der Gießform geschieht ähnlich wie bei der Flammenschweißung, doch ist die Form unten mit einer Durchspülöffnung zu versehen (Bild 60). Zwischen den Stirnflächen der Kabelenden ist je nach dem Querschnitt ein Abstand von 2—4 mm zu lassen.

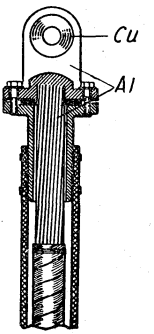


Bild 56. Kabelschuh mit angeflanschter Schlauchtülle.

Die Gießtemperatur soll 850—900° betragen, deren Erreichung an der hellkirschroten Farbe der Schmelze zu erkennen ist. Sie soll möglichst mit einem Pyrometer nachgeprüft werden. Steht ein solches nicht zur Verfügung, so kann man 25 mm lange Al-Drahtstücke von 2 mm Durchmesser in die Schmelze werfen; sind diese in 2 Sekunden geschmolzen, so hat die Schmelze die richtige Gießtemperatur. Eine obenaufschwimmende Schlacke ist abzuschöpfen.

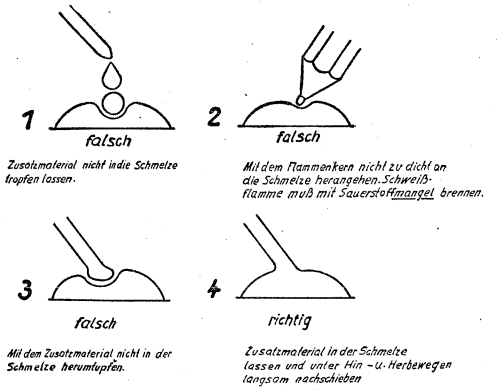


Bild 57. Einführung des Zusatzwerkstoffes.

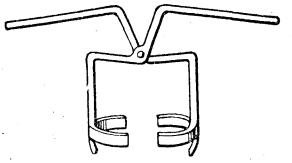


Bild 58. Tiegelzange.

Das Aluminium wird in die vorgewärmte Gießform eingegossen und soweit es durchfließt, in einem Tiegel aufgefangen, und zwar solange, bis der mittlere Teil der Form hellrotglühend ist, was nach etwa 10—15 Sekunden Gießdauer eintreten soll. Dann hält man die untere Ausflußöffnung mit einer Zange nach Bild 61 zu, bis die Gußstelle erstarrt ist. Während dieser Zeit darf die Gußform nicht erschüttert werden, doch muß die sich innerhalb des Domes bildende Gußhaut durchstochen werden, um ein Nachfließen des Al zu ermöglichen. Gleich nach dem Gießen werden Kühlbacken aufgesetzt. Die weitere Behandlung der Schweißstelle erfolgt wie beim Flammenschweißen (s. oben). Die Gußstelle ist gut, wenn sich an ihren zwei Enden zwischen den einzelnen Drähten des Leiters eingelaufenes Al zeigt.

Lötverbindungen.

Bei Al-Verbindungen ist das Schweißen dem Löten unbedingt vorzuziehen. Lötverbindungen erfordern bei ihrer Herstellung größte Sorgfalt. Es hat sich gezeigt, daß bei nichtverschmolzenen Seilenden die Lötungen innen nicht gleichmäßig ausfallen, d. h. nicht sämtliche Drähte des Seiles von der Lötung erfaßt werden. Da nun aber die Oxydschicht auf der Oberfläche des einzelnen Drahtes den Stromübergang von einem Draht auf den benachbarten erschwert, tritt eine Erwärmung der Lötstelle ein, wenn nicht von vornherein sämtliche Drähte z. B. mit dem Körper des Kabelschuhes durch die Lötung metallisch verbunden werden. Querschnitte über 120 mm² sollten nicht gelötet werden. Die Lötung kann

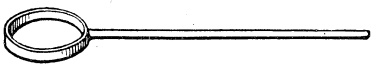


Bild 59. Tiegelgießring.

1. nach dem Reibelötverfahren;
2. nach dem Reaktionsverfahren

erfolgen.

1. Das **Reibelötverfahren** ist zwar zeitraubend aber zuverlässiger. Es erfordert die Behandlung jedes einzelnen Drahtes des Seilendes, und sollte deshalb bei zweilagigen Seilen (19 Drähte) im allgemeinen nur dann verwendet werden, wenn keine Schweißeinrichtung zur Verfügung steht. Nach dem Abisolieren bindet man das Seilende mit Draht zusammen, biegt die Drähte auseinander (Bild 62) und reinigt sie. Sie werden dann mit der

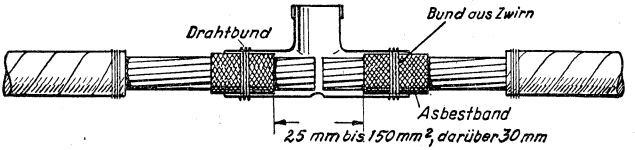


Bild 60. Aufsetzen der Gießform.

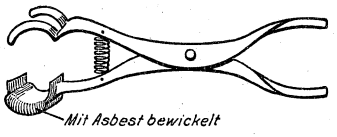


Bild 61. Hilfszange.

Lötlampe erwärmt und durch kräftiges Reiben mit dem AEG-Alulot M (Metallisierungslot) einzeln auf der Innenseite verzinnt. Hierbei zerstören die Zinkkristalle des Lotes mechanisch die Oxydhaut des Al-Leiters und das Zinn verbindet sich mit dem oxydfreien Al. Unter nochmaligem leichtem Erwärmen wird dann das Zinn mit einem Stahldrahtpinsel eingebürstet. Lötfett darf nicht verwendet werden. Hierauf werden die Drähte mit einem Drahtbund zusammengebunden und außen in derselben Weise verzinnt. Mit der zweiten Lage verfährt man ebenso. Auf das verzinnte Seil wird nun ein gut verzinnter Cu-Kabelschuh oder eine Verbindungshülse geschoben und mit AEG-Alulot F (Füllot) verlötet. Bei der Verzinnung der Kabelschuhe darf nur Kolophonium verwendet werden. Die Verbindungsstelle erhält sofort einen Lackanstrich oder eine Bandage aus Lackband.

Das Reibelötverfahren kann auch verwendet werden, um auf massiv verschmolzene Seilenden verzinnte Kupferkabelschuhe mit Zinnlot oder Alulot F aufzulöten, nachdem das Ende vorher durch Anreiben mit Alulot M verzinnt ist. Dies kann dort in Frage kommen, wo bei einer größeren Anzahl nebeneinander angeordneter Leiter für die Al-Kabelschuhe kein Platz ist.

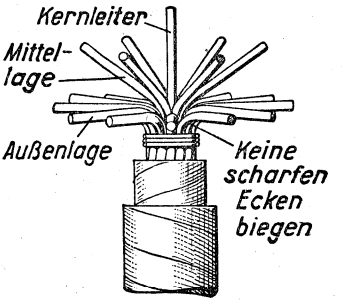


Bild 62. Vorbereitung des Seilendes für Reibelöten.

2. Das **Reaktionslötverfahren.** Das Anreiben der einzelnen Leiter fällt hier fort, da in der verwendeten Lötpaste Flußmittel enthalten sind, die das Al-Oxyd in der Hitze beseitigen.

Die Isolation wird so weit abgesetzt, daß zwischen Kabelschuh und Isolation der blanke Leiter auf 50 mm freibleibt. Nach Abbinden über der Isolation werden die einzelnen Drähte gespreizt und durch Erwärmen und Abwischen von Masseresten gereinigt. Um ein Eindringen von Lot- und Flußmitteldämpfen in die Isolation zu verhindern, ist zwischen die Drähte bis 20 mm über der Isolation ein Kitt einzubringen, der aus trockener Kokillenfarbe und farblosem Spirituslack angerührt wird. Die Lötstelle muß sauber bleiben, der Kitt aber gut zwischen die einzelnen Drähte gebracht werden. 40 mm über der Isolation werden die Drähte noch einmal abgebunden, darüber auseinandergespreizt und Weichlötpaste Firinit 39 auf der Lötstelle verteilt. Der vom Zinn

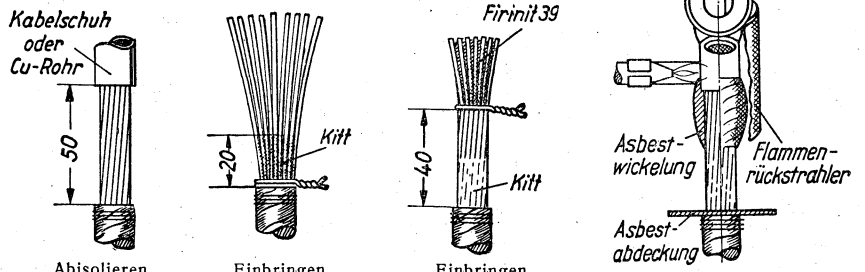


Bild 63. Arbeitsvorgänge beim Auflöten eines Kabelschuhes nach dem Reaktionslötverfahren

befreite Kabelschuh wird aufgeschoben und das Herausfließen des Lotes durch Umwickeln des Leiters mit Asbestband verhindert. Die Lötstelle wird mit der Lötlampe oder einem Propangasbrenner solange erhitzt, bis graue Flußmitteldämpfe aufsteigen und sich entzünden. Dann erst wird Alulot M zugesetzt. Durch Beklopfen ist das Aufsteigen der Schlacke zu fördern. Nach beendeter Lötung ist ein Lacküberzug oder eine Lackleinenbandage aufzubringen.

Das Reaktionslötverfahren ist mit Vorsicht anzuwenden, da es durch lange Einwirkung der hohen Löttemperatur von etwa 450° eine Gefahr durch Verbrennen der Isolation bildet. Bei zu niedriger Temperatur etwa nicht reduzierte Flußmittelreste bedeuten eine Anfressungsgefahr für den Leiter.

Das Reaktionslötverfahren darf deshalb nur von geübten und erfahrenen Fachleuten verwendet werden.

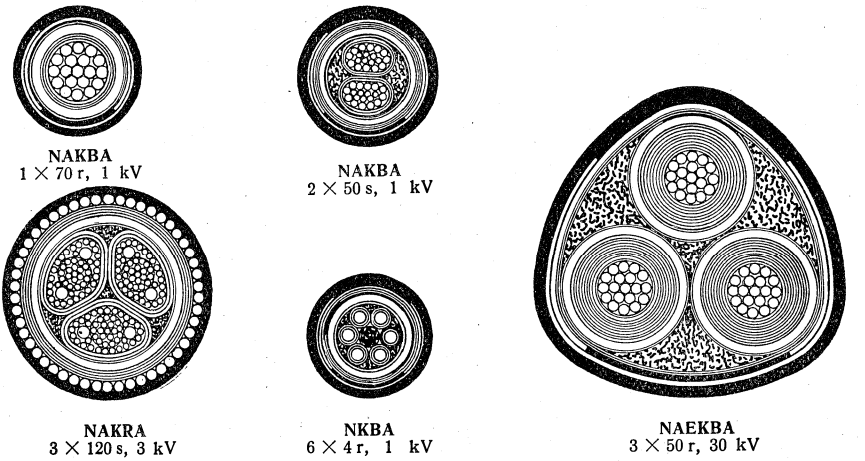
Bild 63 zeigt die Arbeitsvorgänge.

IV. Verlegung von Bleikabeln.

Allgemeines.

Die Kurzzeichen für Starkstromkabel sind in Tafel 18 angegeben, die Abmessungen und Gewichte der eisenbandbewehrten, asphaltierten Bleikabel NKBA und NAKBA in Tafel 19 und 20.

Bei Kabeln für besondere Verwendungszwecke, z. B. Grubenkabel, Flußkabel, Dehnungskabel, Kabel mit Säureschutz, Kabel für Räume mit hoher Temperatur, sind genaue Angaben über Verwendung, Verlegung, Übertragsleistung und Temperaturverhältnisse erforderlich. Grundsätzlich werden für Spannungen über 30 kV nur Gasdruckkabel oder Ölkabel vorgesehen. Gasdruckkabel sind anwendbar von 20 kV bis etwa 45 kV. Ölkabel sind lieferbar von 25 kV an, werden aber hauptsächlich für Spannungen ab 60 kV verwendet. Gasdruck- und Ölkabel sind erheblich höher belastbar und gegen Überlast unempfindlicher als Massekabel.



Ausführungsbeispiele von Bleikabeln (vgl. die Kurzzeichen in Tafel 18)

Tafel 18. Kurzzeichen für Starkstromkabel

nach den Vorschriften für Bleikabel in Starkstromanlagen VDE 0260 U/1937 bzw. VDE 0260/1936

Kurzzeichen	Bezeichnung	Bewehrung	Bedeckung
NK	blankes Kabel	—	—
NKA	asphaltiertes Kabel	—	asphaltierte Jute
NKB	normales bewehrtes Kabel	Bandeisen	—
NKBA			asphaltierte Jute
NKF		Flachdraht	—
NKFG			Flachdrahtgegenwendel
NKFA			asphaltierte Jute
NKR		Runddraht	—
NKRG			Flachdrahtgegenwendel
NKRA			asphaltierte Jute

Bei Kabeln mit **Aluminiumleitern** tritt hinter das „N" ein „A", also z. B.: NAKBA.

Dem Kurzzeichen sind an Angaben hinzuzufügen: Leiterzahl, Leiterquerschnitt, Leiterform (rund „r", sektor „s"), Betriebsspannung in kV (siehe obenstehende Beispiele).
Bei Abweichungen von den Normen tritt an Stelle des N ein X,
bei der leichten Exportausführung tritt an Stelle des N ein L,
bei Kabeln mit metallisierten Adern tritt an Stelle des N ein H.

Eingefügt wird hinter dem N, X, L oder H
bei Mehrleiterkabeln mit einzeln verbleiten Adern ein E,
bei Kabeln mit Gummi-Isolation ein G.

Angehängt wird bei Kabeln mit doppelter äußerer Bedeckung ein A.

Tafel 19. Bandbewehrte Bleikabel mit Kupferleitern

und Papierisolation bis 1 kV, **NKBA**, eindrähtig, rund.

Querschnitt	1-Leiter		2-Leiter		3-Leiter		4-Leiter	
mm²	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg
1,5	14,8	550	17,8	800	18,3	850	19,0	920
2,5	15,2	590	18,6	890	19,1	950	20,0	1060
4	15,7	640	19,6	990	20,2	1080	21,2	1210
	6-Leiter		8-Leiter		10-Leiter		12-Leiter	
1,5	20,8	1110	21,8	1230	23,8	1450	24,3	1520
2,5	22,0	1270	23,1	1420	25,4	1590	25,9	1770
4	23,5	1480	24,8	1680	27,4	2000	28,0	2130

Tafel 20. Bandbewehrte Bleikabel mit Aluminiumleitern

und Papierisolation, NAKBA, bis 35 mm eindrähtig, rund; ab 50 mm mehrdrähtig, und zwar Einleiter rund, Mehrleiter sektorförmig

Querschnitt mm²	1-Leiter 1 kV		2-Leiter 1 kV		3-Leiter 1 kV		4-Leiter 1 kV	
	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg
10	17,0	730	22,2	1200	22,8	1270	24,2	1410
16	17,9	810	24,0	1380	24,7	1470	26,3	1660
25	19,7	980	27,2	1720	28,0	1840	30,0	2100
35	20,7	1080	29,2	1950	30,2	2130	32,8	2610
50	23,1	1320	29,7	2030	32,2	2580	35,9	3070
70	24,9	1520	32,8	2550	35,2	3020	39,3	3720
95	26,7	1740	33,8	2820	38,2	3620	43,3	4510
120	28,2	1930	36,0	3180	41,9	4300	47,4	5270
150	30,3	2190	39,2	3760	46,1	5040	51,4	6240
185	32,4	2610	42,1	4340	49,4	5830	55,4	7290
240	35,5	3060	47,0	5240	53,5	6950	61,0	8810
300	38,1	3570	50,7	6130	58,8	8260	66,1	10350

Querschnitt mm²	3-Leiter 3 kV		3-Leiter 6 kV		3-Leiter 10 kV	
	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg	Außen-ø etwa mm	1000 m etwa kg
6	24,2	1390	—	—	—	—
10	25,9	1560	30,6	2070	32,9	2640
16	27,8	1790	32,9	2480	35,0	3010
25	30,4	2090	35,4	2820	37,8	3500
35	32,9	2560	37,7	3250	39,9	3850
50	34,5	2850	38,9	3510	41,0	4180
70	37,6	3410	42,0	4120	45,9	5460
95	40,4	3920	45,3	4700	48,4	6060
120	44,7	4700	48,8	5490	52,3	7100
150	47,3	5230	51,5	6050	54,8	7700
185	50,5	6010	54,7	6890	58,0	8660
240	54,5	7170	57,7	7760	61,4	9850

Verlegung im Freien.

Die Betriebssicherheit eines Kabelnetzes ist davon abhängig, daß die Verlegung des Kabels und die Anbringung der Garniturteile (Endverschlüsse, Verbindungs- und Abzweigmuffen usw.) sachgemäß erfolgen.

Vor Beginn der Verlegung ist die Streckenführung festzulegen unter Berücksichtigung der örtlichen Umstände, z. B. in Städten der Lage bereits vorhandener Kabel.

Für die Haltbarkeit des Kabels ist es wichtig, daß der Erdboden auf zerstörend wirkende Bestandteile hin (wie Salze, Chlor, Säuren, Torf, Asche usw.) untersucht

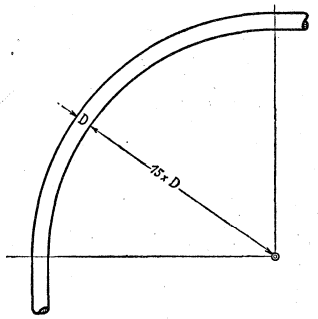


Bild 64. Engster Krümmungsbogen für ein Hochspannungskabel.

wird. Ist bei der Bestellung der Kabel bereits bekannt, daß der Erdboden schädliche Bestandteile enthält, so empfiehlt es sich, das Kabel mit einem geeigneten Schutz versehen zu lassen. Bei Torf und Asche genügt gegebenenfalls schon eine Lagerung in eine das Kabel umgebende 10 cm starke Lehm- oder Sandschicht. Zum Zufüllen darf Torf oder Asche nicht verwendet werden.

Besonders ist das Kabel bei der Verlegung zu schützen gegen Verdrehung, Knickung, starken Zug (bei blanken und bandbewehrten Kabeln), ferner gegen Druck und scharfe Biegungen. Der kleinste Krümmungshalbmesser soll mindestens dem 12fachen des äußeren Kabeldurchmessers bei Niederspannungskabeln, dem 15fachen bei Hochspannungskabeln entsprechen (Bild 64).

Die Verlegung erfolgt unmittelbar in die Erde. Hierfür werden **Kabelgräben** von etwa 70 cm Tiefe ausgehoben, welche bei 1 bis 3 Niederspannungskabeln etwa eine Spatenbreite haben sollen. Das Kabel soll möglichst in Sand gebettet werden. Selbst wenn eine größere Zahl von Kabeln zu verlegen ist, ist es doch nicht zu empfehlen, zwei oder mehr Lagen von Kabeln übereinander zu legen.

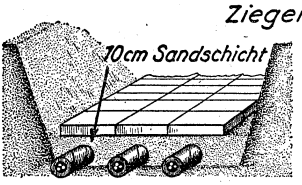


Bild 65.

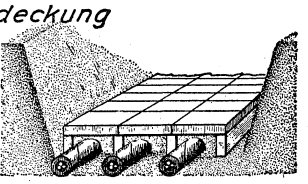


Bild 66.
Abdeckung von Erdkabeln.

Auf die eingelegten Kabel wird vielfach eine Schicht **Ziegelsteine, Formsteine** oder ähnliches gelegt, damit man bei späteren Erdarbeiten nicht unvermutet auf die Kabel trifft und diese beschädigt (Bild 65). Werden mehrere Kabel nebeneinander verlegt, so sind sie bei weniger als 20 cm Abstand durch gebrannte Steine (Bild 66) oder vorteilhafter durch einen in Bild 67 dargestellten **Kabelschutz** voneinander zu trennen.

Für die Verlegung der Kabel über Brücken, an Maueraufführungen oder bei Kreuzungen mit anderen Kabeln oder Röhren sind am besten **Kabelschutzrohre** zu verwenden (Bild 68).

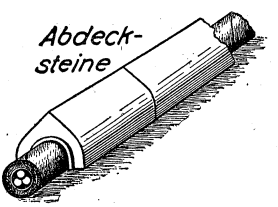


Bild 67.
Kabelschutz.

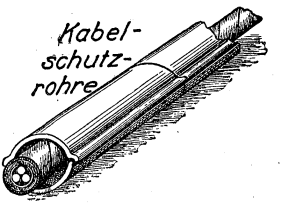


Bild 68.
Kabelschutz bei Kreuzungen.

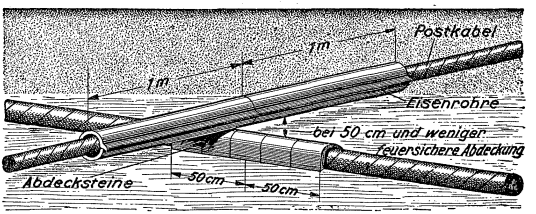


Bild 69.
Kreuzung eines Starkstromkabels mit einem Postkabel.

In Bild 69 ist die Kreuzung mit einem Postkabel, in Bild 70 die Unterführung des Kabels unter einem Bahngleis dargestellt, in Bild 71 die Kreuzung mit einem Gasrohr.

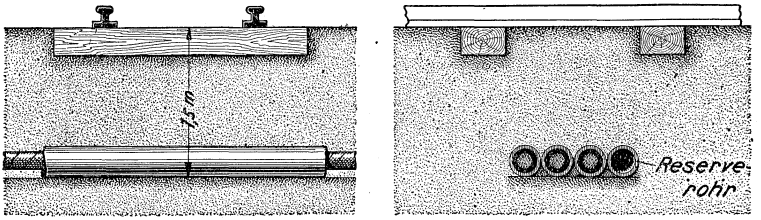
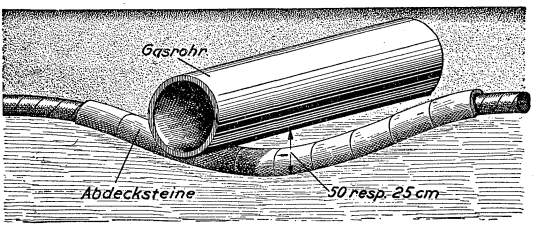


Bild 70. Unterführung von Starkstromkabeln unter einem Bahngleis.

Beim Ein- und Austritt aus einem Rohr ist das Kabel gegen Druck an dem Rohranfang und -ende durch Unterbringen von Erde zu schützen (Bild 72).



Abstand: 50 cm für ein Haupt-, 25 cm für ein Verteilungsrohr.
Bild 71. Kreuzung eines Kabels mit einem Gasrohr.

Bei der Verlegung längs der Gebäude liegt das Verteilungskabel der Gebäudewand am nächsten. Damit der Einbau einer Abzweigmuffe leicht möglich ist, muß der Abstand von der Wand mindestens 70 cm betragen (Bild 73).

Bei der Verlegung von Kabeln ist darauf zu achten, daß das **Kabel nicht zu kalt** ist. Bei Frost sollen Kabel nicht gelegt werden. Innerhalb von Gebäuden läßt sich eine genügende Temperatur der Umgebung leicht erzielen. Im Freien ist die Verlegung bei Frost schon mit Rücksicht auf die Erdarbeiten meist nicht angängig. Dagegen sieht man häufig, daß das Kabel im Freien in der Kälte gelagert hat, was an sich nichts schadet, dann aber sofort in Gebäuden im kalten Zustande verarbeitet wird. Das ist unzulässig, da dann die Isolation leicht bricht. Das Kabel soll vielmehr 24 Stunden vor der Verlegung in einem warmen Raum (etwa 25° C) gelagert und dann unverzüglich verlegt werden. Sind an bereits verlegten Kabeln dringende Arbeiten (wie Instandsetzungen, Hausanschlüsse usw.) bei Frost auszuführen, so muß das Kabel vorher angewärmt werden.

Abladen und Auslegen des Kabels.

Das Abladen der Kabeltrommeln, auf denen das Kabel angeliefert wird, vom Eisenbahnwagen und das Aufladen auf den Kabelwagen zur Weiterbeförderung hat stets unter Aufsicht des Monteurs zu erfolgen.

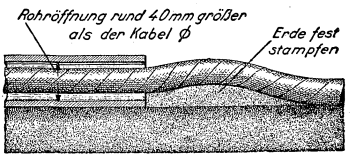


Bild 72. Stützung des Kabels beim Rohraustritt durch Unterbringen von Erde.

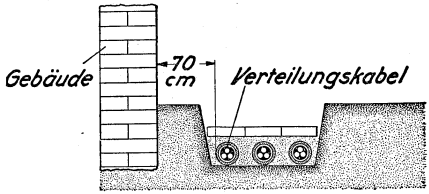


Bild 73.
Verlegung von Kabeln längs eines Gebäudes.

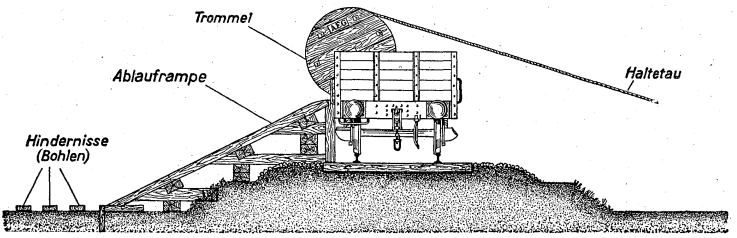


Bild 74. Behelfsmäßige Rampe zum Abladen der Kabeltrommeln.

Ist ein Kran oder eine Laderampe nicht vorhanden, so ist eine behelfsmäßige Rampe, z. B. durch Anfahren mehrerer Fuhren Erde, herzustellen (Bild 74). Das Abwerfen der Trommeln ist keinesfalls zulässig. Bei Benutzung eines Kabelwagens ist nur mit der Winde auf- und abzuladen. Um ein Lockerwerden des Kabels auf der Trommel zu vermeiden, darf dieselbe nur in der auf dem Trommelflansch bezeichneten Pfeilrichtung gerollt werden.

Zum Abrollen des Kabels sollen stets Windeböcke und -wellen benutzt werden (siehe Bilder 76 u. 77). Bei leichten Kabeltrommeln kann man nötigenfalls leere Kisten mit vor die Welle genagelten Klötzen verwenden. Kürzere Kabelenden, welche in Ringen geliefert sind, müssen auf dem Boden ausgerollt werden, so daß keine Verdrillung eintritt. Beim Auslegen eines Kabels darf dieses nie auf Zug beansprucht werden, es ist nur zu tragen, nicht durch Ziehen an einem Ende zu schleifen.

Werden Kabelwindeböcke aufgestellt, so müssen sie so auf den Unterlagen (Bretter oder Steine) ruhen, daß sie nicht wackeln. Vorteilhaft ist es, das Kabel von oben ablaufen zu lassen. Kann sich die Trommel frei drehen, so sind die Schalbretter vorsichtig zu entfernen und aufzubewahren.

Vor dem Abziehen des Kabels sind die Endkappen auf Dichtigkeit zu untersuchen. Ist die Bleikappe beschädigt, so muß sofort durch eine Isolationsmessung festgestellt werden, ob nicht etwa Feuchtigkeit in das Kabel eingedrungen ist. Nötigenfalls ist durch stückweises Zurückschneiden der Fehler zu beheben und eine neue Schutzkappe aufzulöten.

Man wird die einzelnen Kabellängen möglichst so verlegen, daß die Reihenfolge der Aderfarben (Bild 75) die gleiche ist, damit eine Verbindung gleichfarbiger Adern, wo diese verlangt wird, ohne Kreuzen der Adern möglich ist. Hierbei kann es vorkommen, daß man das Kabel ausnahmsweise von unten abziehen muß. Ist eine äußere Kennzeichnung der Adernreihenfolge nicht vorhanden, so ist erforderlichenfalls die Kappe abzunehmen und nachzusehen.

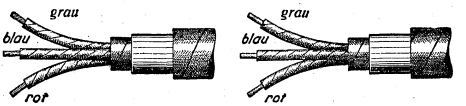


Bild 75. Auslegen der Kabel mit Rücksicht auf die Aderfarbe.

Sind im Kabelgraben Hindernisse, wie Rohre u. dgl., vorhanden, so ist auf diese Rücksicht zu nehmen (s. o. S. 327/328).

Alle Unebenheiten wie Steine, Wurzeln usw., die zu einer Beschädigung des Kabels führen können, sind zu beseitigen.

Ist der Graben frei, so wird die Trommel so aufgestellt, daß nach der einen Seite ein Drittel, nach der anderen Seite zwei Drittel der Kabellänge zur Verlegung kommen. Es ergibt sich dann der Vorteil, daß für die Verlegung nur so viele Leute erforderlich sind, wie ein Drittel der Kabellänge entsprechen (Bild 76).

Vor dem Heben des Kabels über den Trommelflansch ist die Schleife möglichst lang auszuziehen, damit das Kabel möglichst wenig auf Drehung beansprucht wird (Bild 77).

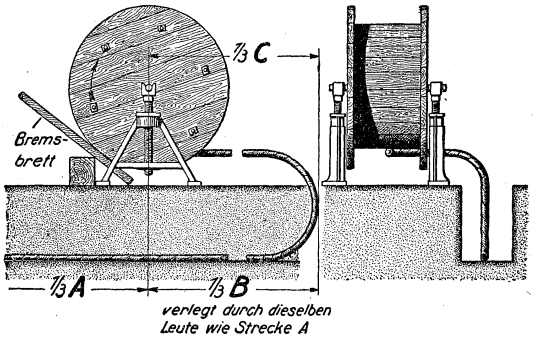


Bild 76. Zweckmäßige Aufstellung der Kabeltrommel.

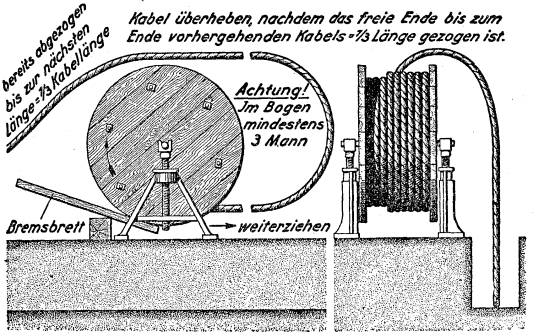


Bild 77. Überheben des Kabels über den Trommelflansch. Dabei 1 Mann an der Bremse, 1 Mann zum Andrehen.

Leichtere Kabel werden bei der Verlegung getragen. Die von dem einzelnen Mann zu tragende Länge wird von der Kabeltrommel aus abgemessen und durch einen Stab in der Erde zwecks gleichmäßiger Verteilung der Last gekennzeichnet. Die kräftigeren Leute sind an den Anfang zu stellen. Bei allen Ecken, um die das Kabel zu führen ist, sind in den Bogen ein bis zwei Mann zu stellen, die dem Kabel die richtige Krümmung geben (Bild 64).

An einem Ende beginnend, wird das Kabel vorsichtig niedergelegt, nicht abgeworfen. Empfehlenswert ist es, das Kabel auf Rollen in der Grabensohle entlangzuziehen (alle 5 bis 10 m eine Rolle) (Bild 79).

Ist die Möglichkeit vorhanden, unmittelbar vom Kabelwagen aus zu verlegen, so ist diese Verlegungsart die vorteilhafteste (Bild 78). Das Bild 80 läßt die Verwendung von Rollen bei der Auslegung von schweren Kabeln erkennen.

Das Abziehen geht in langsamen Schritten vorwärts. Dabei muß die Trommel so abgebremst werden, daß das Kabel noch gezogen werden muß. Ein schnelles Abziehen darf durch den Aufsichtführenden nicht zugelassen werden.

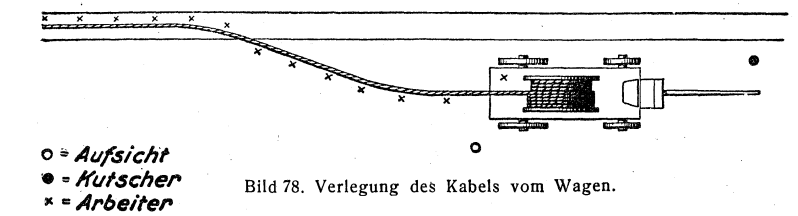


Bild 78. Verlegung des Kabels vom Wagen.

Das abgezogene Kabel muß sofort in den Graben gelegt werden und soll auch nicht während längerer Arbeitspausen auf der Grabenkante liegenbleiben. Es soll vor Feierabend abgedeckt im Graben liegen.

Wird während der Verlegung am Kabel eine Beschädigung wahrgenommen, so ist die Stelle sofort zu kennzeichnen, um später untersucht werden zu können.

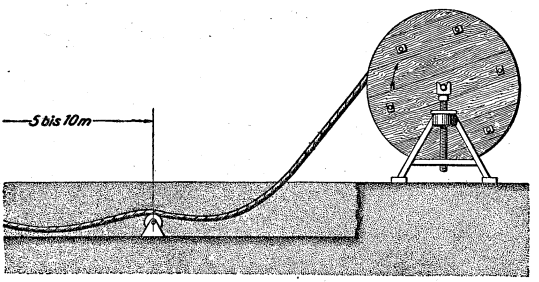


Bild 79. Unterstützung des Kabels durch Rollen im Kabelgraben.

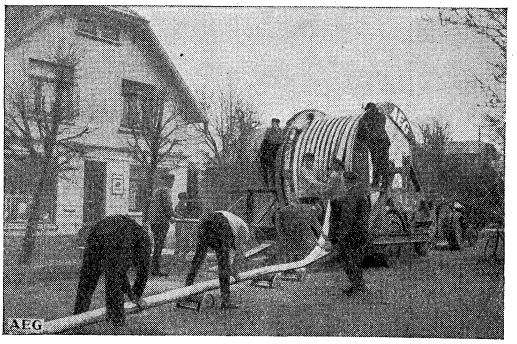


Bild 80. Auslegen des Kabels vom Kabelwagen unter Verwendung von Rollen.

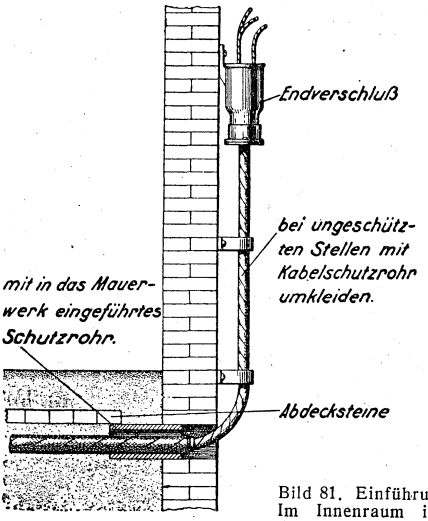


Bild 81. Einführung eines in Erde verlegten Kabels in ein Gebäude. Im Innenraum ist die das Kabel umhüllende Jute entfernt.

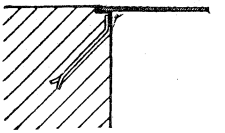


Bild 82. Riffelblechabdeckung eines Kabelkanals.

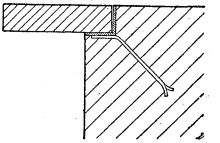


Bild 83. Betonplattenabdeckung eines Kabelkanals.

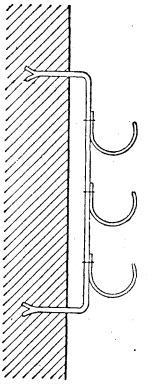


Bild 84. Mehrfachkabelträger

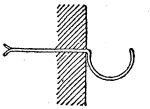


Bild 85. Einfacher Kabelträger

Die weitere Behandlung schadhafter Stellen siehe unter Muffenverbindungen.

Über die Lage des Kabels, die genauen Längen von Muffe zu Muffe oder bis zu Endverschlüssen, über diese Teile selbst, sind während der Verlegung Aufzeichnungen mit Plänen anzufertigen, die für spätere Erweiterungen und Instandsetzungsarbeiten wichtig sind. Durch Bänder, auf denen Querschnitt, Spannung und Kurzzeichen vermerkt sind, ist ferner jedes in der Erde verlegte Kabel in Abständen von 3 bis 4 m zu kennzeichnen (sogenannte Kabelmarken, Merkzeichen).

Verlegung von Kabeln in Gebäuden.

Bleikabel ohne Bewehrung d. h. mit blankem oder asphaltiertem Bleimantel dürfen nur da verlegt werden, wo sie gegen die im Betriebe zu erwartenden mechanischen Beschädigungen geschützt sind.

Bei den innerhalb von Kraftwerken oder sonstigen Betriebsräumen liegenden Kabeln ist wegen Feuersgefahr die das Kabel umschließende Jute zu entfernen und die Bewehrung mit schwarzer Eisenfarbe zu streichen (Bild 81). An der Durchführungsstelle durch die Wand ist das Kabel durch ein Rohr zu schützen. Dasselbe gilt für Wand- und Deckendurchgänge innerhalb der Gebäude.

In Gebäuden werden für waagerecht verlaufende Kabel vielfach gemauerte Kanäle, meist im Kellerfußboden hergerichtet, welche mit eisernen oder aus Beton hergestellten Abdeckplatten zugedeckt werden (Bild 82 u. 83).

Beim Anschellen von Kabeln an Wänden soll der Abstand zweier Schellen voneinander höchstens 1 m betragen. Die Kabel dürfen nicht auf scharfe Kanten oder schmale Haken aufgelegt werden.



Bild 86. Kabel an der Wand eines Tunnels auf Hakenleisten (Leiste mit Bezeichnungsschildern).

müssen nach der Verlegung mit dem Holzhammer geradegerichtet werden.

Senkrecht an der Wand verlaufende Kabel, also Steigeleitungen u. dgl., müssen an allen Tragstellen festgeklemmt werden (Bild 89). Bei eisenbandarmierten Kabeln können die Schellen, wenn sie gut passen, aus Eisen sein. Man

Waagerecht an der Wand verlaufende Kabel werden am einfachsten in hakenförmige Flacheisen verlegt (Bild 84 und 85). Diese Verlegung (Bild 86) ist meist nur an Wänden von Tunneln u. dgl. möglich, da die Kreuzung von Türen bei zahlreichen Kabeln gewöhnlich Schwierigkeiten bereitet.

Für waagerecht an Decken verlaufende Kabel werden Schellenstützen nach Bild 87 und 88 verwendet. Diese Bauart gestattet das Hochheben und Einlegen jedes einzelnen Kabels in die fertig eingebauten Stützen und eine bequeme Verschiebung einzelner Kabel. Für ein bis drei Kabel kann man entsprechend vereinfachte Formen wählen, die nur eine einzige Befestigung in der Decke verlangen.

Alle an derartigen Schellen verlegten Kabel

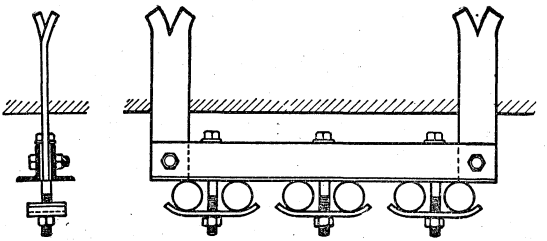


Bild 87. Schellenstütze für zahlreiche Kabel. Bequemes Auflegen der einzelnen Kabel. Verschiebbare Schellen.

muß aber dafür sorgen, daß sie auf dem Umfang gleichmäßig aufliegen und nicht zum Eindrücken des Bleimantels führen. Deshalb werden hierfür oft Holzklemmen verwendet oder in die Eisenschellen Holzeinlagen gelegt.

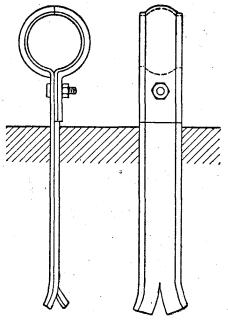


Bild 89. Fertig gepreßte Rohrschelle zur Aufnahme eines Kabels.

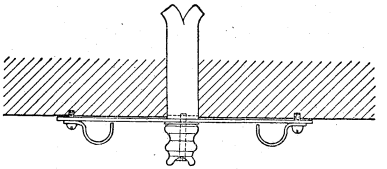


Bild 88. Eisendübel für Gleichstrom-Dreileiteranlagen zur Aufnahme von zwei Einfachkabeln und einem Nulleiter auf Porzellanrollen.



Bild 91. Bleikappe zum Verschließen eines Kabels gegen Eindringen von Feuchtigkeit.

Bild 90 zeigt den Übergang von Wand- auf Deckenverlegung unter Verwendung von Einzelschellen, Wand- und Deckenstützen. Auf die Einhaltung der kleinstzulässigen Biegungshalbmesser der Kabel ist hierbei zu achten.

Kabelendverschlüsse.

Die Bearbeitung der Kabelenden und Abzweigungen erfordert besondere Sorgfalt. Schon beim Abschneiden mit der Bogensäge vermeide man zu scharfes Knicken. Bevor man den Schnitt ausführt, wird zu beiden Seiten die Jute mit Bindedraht abgebunden (Bild 96).

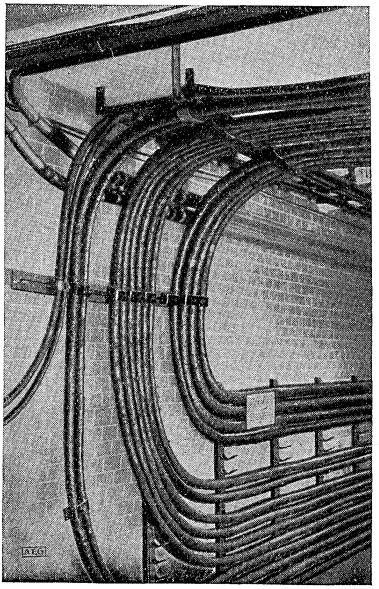


Bild 90. Übergang von Wand- auf Deckenverlegung.

Wenn eins der beim Schnitt entstehenden Kabelenden nicht sogleich verlegt und durch Kabelendverschluß o. dgl. verschlossen wird, so muß es, damit keine Feuchtigkeit in das Kabel eindringt, eine **Kappe aus Bleiblech** (Bild 91) erhalten, welches man meist von der Verarbeitung anderer Kabelenden zur Verfügung hat. Die Kappe muß die Stirnfläche luftdicht nach außen abschließen. Bei vorübergehender Aufbewahrung genügt ein sorgfältiger Verschluß mit Chatterton-Compound, auf den Gummiband und dann Isolierband gewickelt wird. Umwicklung mit Isolierband allein genügt nicht, da Isolierband im Verhältnis zu der Kabelisolierung minderwertig ist. Seine Verwendung auf den Kabeladern zu Isolierzwecken ist deshalb verboten.

Kabelendverschlüsse sind überall dort zu verwenden, wo vom Kabel auf eine andere Verlegungsart (Freileitung, isolierte Leitung, Feuchtraumleitung) übergegangen oder wo das Kabel an einen Motor oder ein Gerät angeschlossen wird.

Der Endverschluß muß so ausgebildet sein und so an das Kabel angebaut werden, daß das Eindringen von Feuchtigkeit in das Kabelinnere mit Sicherheit vermieden wird.

Die Kabelendverschlüsse werden je nach dem Verwendungszweck, Verwendung für Innen- oder Außenmontage, Höhe der Spannung usw. in den mannigfachsten Formen ausgeführt. Die Bilder 92 a bis d und 93 zeigen einige dieser Bauarten.

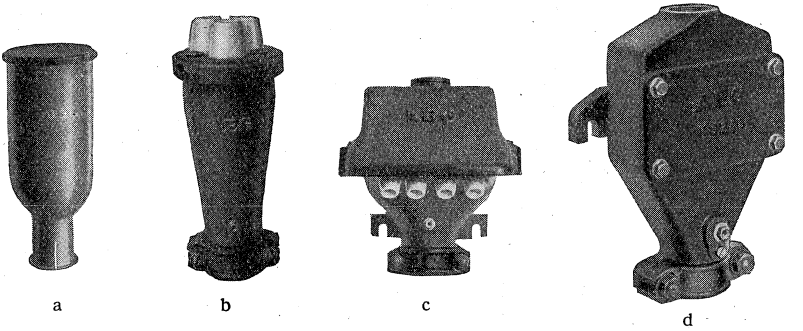


Bild 92. Endverschlüsse für Bleikabel.
a) Zylinderendverschluß bis 1 kV DIN VDE 7699 b) Kegelendverschluß bis 10 kV DIN VDE 7699 c) Endverschluß für den Übergang auf Freileitung bis 1 kV d) Übergangsendverschluß (Bleikabel auf Stahlpanzerrohr oder Feuchtraumleitung)

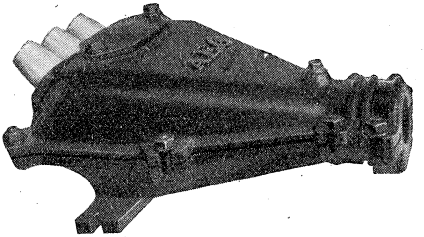


Bild 93. Liegender Endverschluß für Innenräume (für Maschinenkabel) bis 10 kV.

Weitere Ausführungen finden sich im Abschnitt „Schaltanlagen" S. 158.

Der Anbau der beiden Endverschlüsse nach Bild 92 a und 92 b erfolgt folgendermaßen: Bei der Herrichtung des Kabelendes ist das Kabel so lang zu bemessen, daß es bis an die Anschlüsse der Verbrauchsgeräte o. dgl. reicht. Der Endverschluß wird zu diesem Zweck an seinem Standort angeschraubt und das Kabel hingebogen. An der Übergangs-

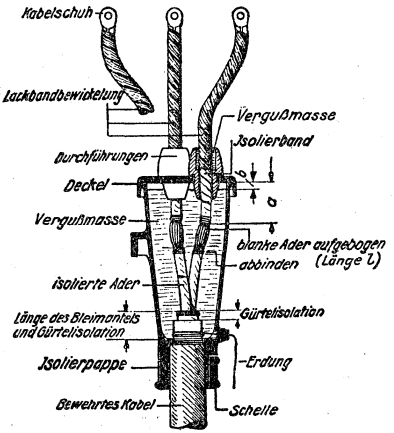


Bild 94. Kegelendverschluß. DIN VDE 7699.

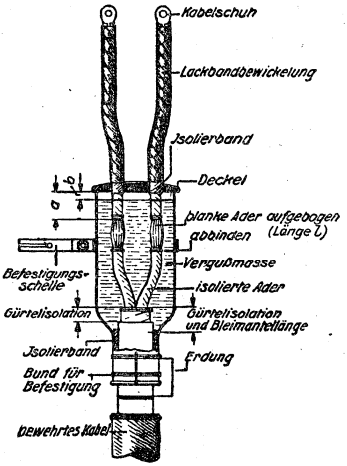


Bild 95. Zylinderendverschluß. DIN VDE 7699.

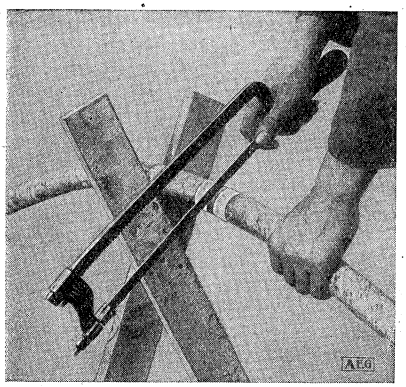


Bild 96. Abschneiden des Kabels. Nicht stark krümmen. Beide Seiten abbinden.

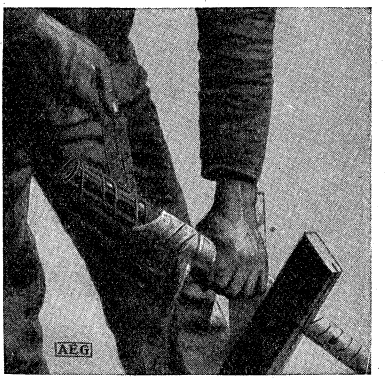


Bild 97.
Entfernen der äußeren Jute.

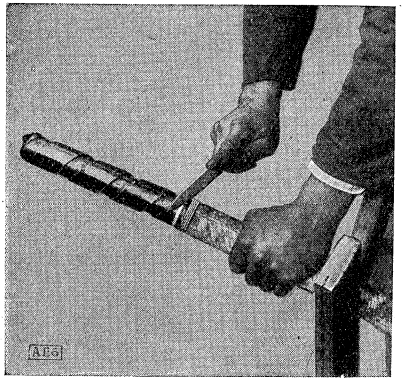


Bild 98.
Durchfeilen des Eisenmantels.

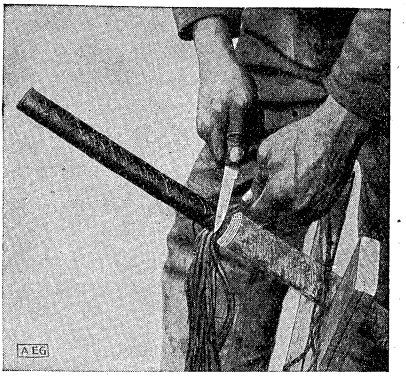


Bild 99. Abschneiden der inneren Jute. Nicht gegen das Kabel zu schneiden.

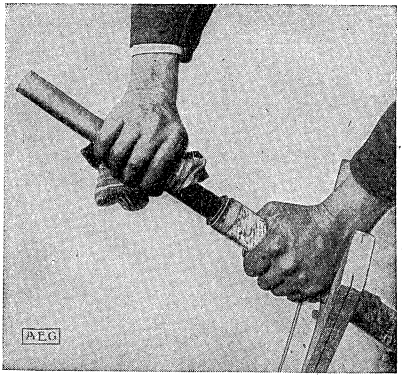


Bild 100. Reinigen des Bleimantels mit Benzin.

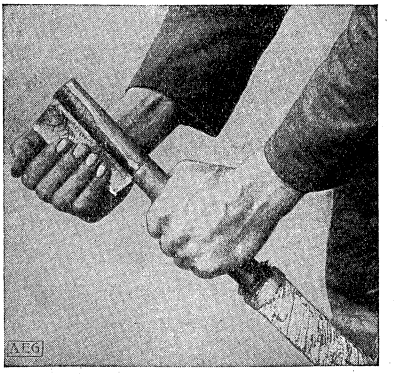


Bild 101. Abreißen des Bleimantels.

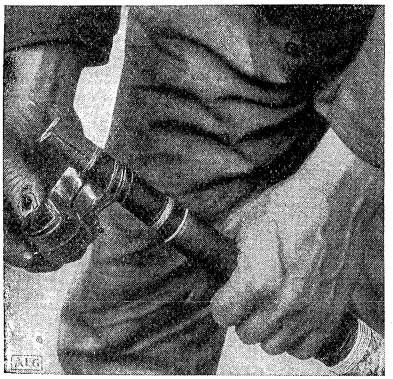


Bild 102.
Abreißen der Gürtelisolation.



Bild 103. Abschneiden des Füllstoffes. Nicht gegen das Kabel zu schneiden.

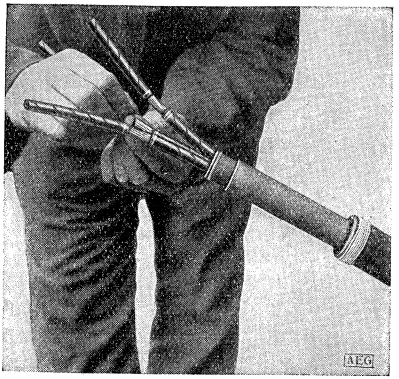


Bild 104. Das fertig abisolierte Kabelende.

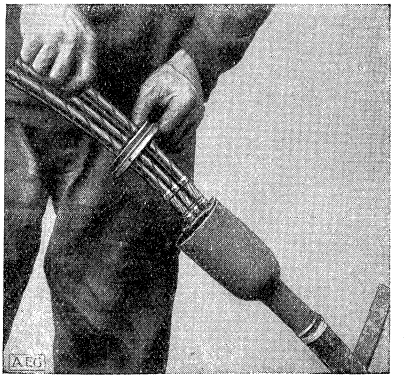


Bild 105. Einführen des Deckels.

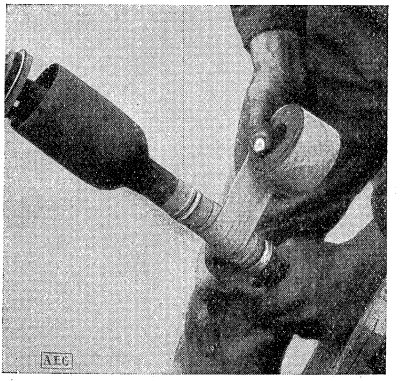


Bild 106. Dichten und Befestigen des Endverschlusses auf dem Bleimantel.

stelle vom Hals zum Hohlraum des Endverschlusses ist die Bewehrung durch Draht abzubinden. Dieser Drahtbund muß bei der Kegelform noch im Hals des Endverschlusses (Bild 94), bei der Zylinderform außerhalb desselben liegen (Bild 95). Oberhalb dieser Bewicklung wird die Jute abgewickelt und abgeschnitten (Bild 97). Dann wird die Eisenbewehrung unmittelbar neben der Abbindung mit der Dreikantfeile ringsherum eingefeilt und mit einer Zange abgerissen (Bild 98). Das Abtrennen mittels Säge oder ähnlichen Werkzeuges ist unzulässig, da hierdurch der Bleimantel beschädigt werden könnte. Hierauf ist der innere Füllstoff bis zum Ende des Eisenmantels abzuschneiden (Bild 99), das auf dem Bleimantel haftende Kabelpapier nach Anwärmen mit der Lötlampe abzunehmen und der Bleimantel mit einem bezingetränkten Lappen zu reinigen (Bild 100).

Soll Erdung vorgesehen werden, so ist der Erdungsleiter (Draht oder Litze) jetzt vor der Abtrennung des Bleimantels aufzulöten, um die Adern gegen Hitzewirkung zu schützen. Der Bleimantel ist dicht an der Bewehrung blank zu schaben und der Erdungsleiter in ein bis zwei Windungen aufzulöten. Die Lötung ist durch eine Schmierwulst zu verdicken. Der Querschnitt dieses Leiters soll, falls nicht Sondervorschriften vorliegen, bei Kabelquerschnitten bis 50 bzw. 95 mm² bzw. darüber mindestens 6 bzw. 10 bzw. 16 mm betragen.

Um die isolierte Ader freizulegen, werden der Bleimantel und die Gürtelisolierung auf folgende Länge, die in den Hohlraum des Endverschlusses hineinragen muß, entfernt.

Querschnitt des Kabels mm²	Kegel-Endverschlüsse					Zylinder-Endverschl.	
	Einleiter	Mehrleiter				Einleiter	Mehrleiter
	1 kV	1 kV	3 kV	6 kV	10 kV	1 kV	1 kV
Länge des Bleimantels und der Gürtelisolierung mm							
bis 35	40	36	48	48	60	5	20
über 35 bis 120	50	48	60	60	72	5	25
über 120 bis 400	60	60	72	72	84	10	30
Länge der Gürtelisolierung mm							
bis 35	—	12	16	16	20	—	15
über 35 bis 120	—	16	20	20	24	—	18
über 120 bis 400	—	20	24	24	28	—	20

Zu diesem Zweck wird die Oberfläche des Bleimantels ringsum eingekerbt, zwei dicht nebeneinander ausgeführte Längsrisse werden eingeritzt und das dazwischenliegende Stück mit einer Flachzange aufgerollt. Hiernach ist der Bleimantel aufzuklappen und abzureißen (Bild 101). Ein Abschneiden des Bleimantels ist unzulässig. Durch das Abreißen wird er trichterartig aufgeweitet. Etwaige Spitzen des Trichters sind mit dem Messer abzuschneiden. Dann wird die Papierisolierung durch kreisförmiges Einschneiden der oberen und durch Abreißen der unteren Papierlagen entfernt (Bild 102). Beim dann folgenden Ausschneiden des Zwickelbeilaufes ist besondere Vorsicht geboten. Er ist stets mit dem Messer von innen nach außen abzuschneiden (Bild 103). Vom Bleimantel ist nun noch ein Stück nach obiger Tafel zu entfernen, so daß die Gürtelisolierung freiliegt. Diese wird am Ende mit getränktem Zwirn abgebunden.

Um das Austreten der Kabeltränkmasse aus den Aderenden bzw. um das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern, ist die Papierbewicklung jeder Ader nach folgender Tafel bis auf den Leiter zu entfernen und die Drähte sind etwas auseinanderzubiegen. Die angrenzenden Enden der Papierbewicklung sind mit getränktem Zwirn abzubinden (Bild 104).

Kegel-Endverschlüsse (Bild 94)						Zylinder-Endverschlüsse (Bild 95)			
Größe des Endverschlusses	Abstand a in mm		Länge der blanken Ader l in mm		Masseabstand b mm	Größe des Endverschlusses	Abstand a mind. mm	Länge der blanken Ader l mm	Masseabstand b mm
	Einleiter	Mehrleiter	Einleiter	Mehrleiter					
K 210	48	40	30	25	10	Z 120	15	30	5
K 250	56	45	35	30	10	Z 150	20	30	5
K 300	60	50	40	30	10	Z 180	25	30	8
K 350	85	60	50	35	10	Z 216	30	30	8
K 400	85	60	60	40	10	Z 250	30	30	8
K 450	—	70	—	50	10	Z 280	40	30	10
						Z 320	40	30	10

Nun werden das Gehäuse und der Deckel des Endverschlusses auf das Kabel geschoben und die Adern dem Abstand der Deckellöcher entsprechend gebogen (Bild 105). Dann sind die Kabelschuhe auf die freigelegten Aderenden zu löten, wobei die Papierisolierung mit feuerfestem Band zu schützen ist. Nach dem Löten wird das Band entfernt. Über die Behandlung der Kabelschuhe bei Kabeln mit Al-Leitern siehe S. 319. Die isolierten Adern sind von dem späteren Sitz der Deckeloberkante ab bis auf den aufgelöteten Kabelschuh zum Schutz gegen Feuchtigkeit mit einer Lage Lackband (Excelsior-, Cambricband o. dgl.) zu umwickeln und mit Schellack oder gleichwertigem Lack zu streichen.

Bei den Kegelendverschlüssen ist jetzt das Kabel zur Abdichtung mit einer Umwicklung aus Isolierpappe oder geteertem Band dem Halsdurchmesser des Gehäuses anzupassen und die Pappe mit einer Lage Isolierband zu befestigen. Das Endverschlußgehäuse ist hochzuziehen und anzuschrauben, wobei der Erdungsdraht durch die Öffnung für die Erdungschraube hindurchgezogen wird. Das Kabel muß mit Isolierband in den Gehäusehals dicht eingepaßt werden. Dann ist der Deckel auf das Gehäuse zu setzen und zu befestigen. Nun ist die Erdungschraube über den Erdungsdraht zu ziehen und in das Gehäuse einzuschrauben. Der Draht ist durch eine Kupferbeilage festzukeilen und zu verlöten; das Ende ist gegebenenfalls an eine geerdete Eisenkonstruktion anzuschließen. Der Endverschluß wird durch die Eingußöffnungen im Deckel mit Vergußmasse ausgegossen.

Die Zylinderendverschlüsse werden mit Isolierband auf dem Bleimantel des Kabels abgedichtet (Bild 106). Der Hals ist durch einen aufgelegten Drahtbund fest aufzupressen. Dann ist der End-



Bild 107. Anwärmen der Vergußmasse auf einem Blechofen, welcher zur Verhütung der Feuersgefahr in einem Sandkasten steht. Vergießen eines Zylinderendverschlusses.

verschluß in der Schelle zu befestigen und bei hochgeschobenem Deckel langsam auszugießen (Bild 107). Das Verschließen geschieht erst nach dem Erkalten der Masse. Soll der Endverschluß geerdet werden, so ist der bereits erwähnte Erdungsleiter nun auch an den Hals des Gehäuses zu löten. Die Erdung kann entweder von diesem Leiter oder von der Befestigungsschelle aus weitergeführt werden.

Für die Behandlung der Vergußmasse ist zu beachten: Die Masse darf nur in besonderen Massetöpfen, nicht Blechbüchsen, bis zu der für sie vorgesehenen Vergußtemperatur vorsichtig erwärmt werden. Sie darf nicht kochen, ebenso ist das Anbrennen zu vermeiden. Verarbeitungstemperatur für Masse A 150° C, Masse B 190° C, Masse PL. Nr. 24869 150° C, Masse PL. Nr. 24822 120° C. Schäumt die Masse beim Erwärmen, ein Zeichen vorhandener Feuchtigkeit, so ist sie unter Rühren so lange warm zu halten, bis der Schaum vergeht. Angebrannte oder Masse aus alten Garnituren darf nicht verwendet werden.

Bei den Endverschlüssen zum Übergang auf Freileitung (Bild 92c) ist für den Anschluß der Kabelleiter an die Freileitung der Einbau von Gummiadern erforderlich. Infolgedessen hängt die Güte des Endverschlusses auch von dem Zustand der Gummiadern ab.

In den Bildern 108a—e ist das Aufsetzen eines derartigen Endverschlusses auf ein Kabel mit Al-Leitern dargestellt.

Das Kabel wird unter Beachtung der vorstehend gegebenen Anweisungen abgeschnitten und abgesetzt, wie Bild 108a zeigt. Die Erdleitung wird vor Absetzen des Bleimantels angelötet. Hierauf wird das Endverschlußgehäuse soweit über das Kabel geschoben, daß eine Bewicklung mit Teerpappe zum Abdichten des Kabels im Endverschlußhals vorgenommen werden kann. Hierauf wird das Unterteil gehoben und festgeschraubt, dann vorläufig der Steg (Bild 108b) über die Adern geschoben. Die Adern werden auf Länge geschnitten. Die Aderisolation wird dann so weit abgesetzt, daß außer der Schweißform und dem Flammenschutzblech die Kühlbacke nach dem Schweißen auf den Leiter gesetzt werden kann. Beklöppelung und Leinenband werden von der NGA-Leitung innerhalb des Endverschlusses bis Mitte des Isolators entfernt (Bild 108c). Die beiden Leiter (Kabel und NGA-Leitung) werden gegeneinander gelegt und rund geformt, wobei die Lücken zwischen den Leiterdrähten mit Al-Drahtstücken ausgefüllt werden. Die Schweißform aus 1,5 mm Eisenblech sowie das Flammenschutzblech werden aufgesetzt (Bild 108d). Näheres über den Schweißvorgang selbst siehe S. 317. Nach dem Schweißen ist sofort die Kühlbacke aufzusetzen. Nach dem Verschweißen der drei Leiter wird der Steg wieder über die Adern geschoben und an den äußeren Adern mit Bindfaden befestigt.

Die NGA-Leitung wird im Isolator durch Einstopfen von Asbestschnur oder Asbestband und dann mit Chatterton-Compound abgedichtet.

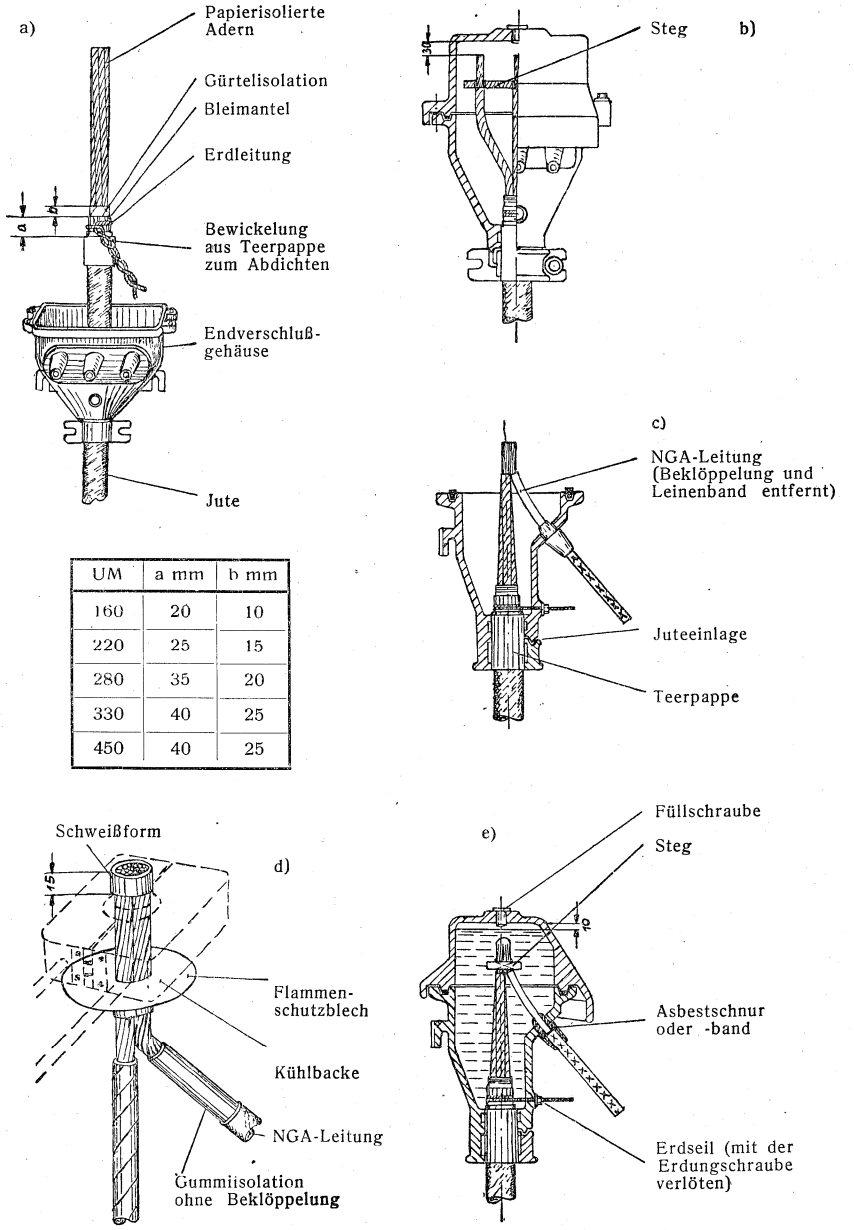
Hierauf wird das Gehäuse mittels einer Lötlampe handwarm vorgewärmt und mit Vergußmasse vollkommen gefüllt. Nach 20stündiger Abkühlung wird soviel Masse nachgefüllt, daß ein Luftraum von 10 mm verbleibt (Bild 108e).

Die Behandlung der anderen oben erwähnten Endverschlüsse erfolgt nach ähnlichen Vorschriften.

Der Übergangsendverschluß nach Bild 92d ist mit Gewinde Pg 16 . . . 29 versehen und für das Einschrauben von Stahlpanzerrohr oder einer Stopfbuchse zum Einführen einer Feuchtraumleitung bestimmt.

Verbindungsmuffen.

Bei der Montage der Verbindungs- und Abzweigmuffen ist zu beachten, daß sie vor Zugbeanspruchung geschützt werden müssen (Bild 109). Die Kabelenden sind etwa 1 m übereinanderzulegen und vor Eintritt in den Muffenhals seitlich auszubiegen. Hierdurch wird ein genügender Kabelvorrat geschaffen, um bei Ausbesserungen die Muffen auswechseln zu können. Sie bestehen stets aus Gußeisen, und zwar aus zwei durch Verschraubung mittels Schellen verbundenen Hälften (Bild 101). Die Vorbe-



UM	a mm	b mm
160	20	10
220	25	15
280	35	20
330	40	25
450	40	25

Bild 108. Endverschluß UM für den Übergang auf Al-Freileitung.

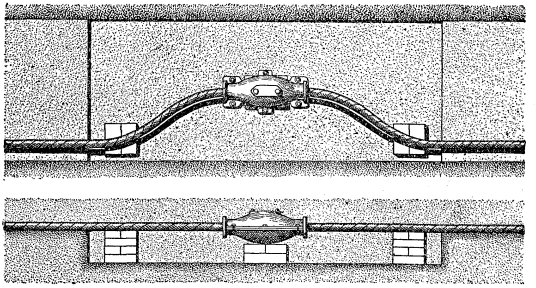


Bild 109. Verlegung einer Verbindungsmuffe.

reitung der Kabelenden geschieht in ähnlicher Weise wie bei den Endverschlüssen unter Berücksichtigung der Längen der Gußeisenmuffen. Zur Freilegung der Kabeladern ist der Bleimantel bis auf die in nachstehender Tafel angegebenen Längen zu entfernen und die gemeinsame Isolierung abzuschälen. Zur Abdichtung der Muffe sind getränkte Schnüre aus Jute in die Nut des Muffenunterteils einzulegen. Die Muffe ist hiernach sofort zu vergießen. Sie ist hierzu, namentlich bei kalter Witterung, gut anzuwärmen. Hiernach sind die Verbindungen im Muffenunterteil (ohne Oberteil) derart mit Masse zu begießen, daß sämtliche Teile der Adern und des Bleimantels gut bedeckt sind.

Querschnitt des Kabels	Länge des Bleimantels und der Gürtelisolierung mm					Länge der Gürtelisolierung mm			
	Einleiter	Mehrleiter				Mehrleiter			
mm²	1 kV	1 kV	3 kV	6 kV	10 kV	1 kV	3 kV	6 kV	10 kV
bis 35	40	45	60	60	75	15	20	20	25
über 35 bis 120	40	60	75	75	90	20	25	25	30
über 120 bis 240	50	75	90	90	105	25	30	30	35
über 240 bis 400	60	75	90	90	105	25	30	30	35

Die Enden der Erdungsleitungen sind durch die Entlüftung-Erdungschrauben des Oberteils hindurchzuführen, das Oberteil aufzuschrauben und anzuwärmen. Die Masse wird bis zu den Öffnungen der Entlüftungsschrauben nachgegossen, so daß die Kabelader dauernd mit Masse bedeckt bleibt. Hierauf sind die Erdungsleitungen in den Erdungsschrauben durch eine Kupferbeilage festzukeilen und zu verlöten. Die Enden sind außerhalb der Muffe zu verbinden und gegebenenfalls an eine Erdplatte oder dgl. anzuschließen.

Während des Nachgießens ist der Deckel mit einem Luftzwischenraum aufzulegen und mit einem Lappen zu überdecken, so daß weder Staub noch Feuchtigkeit in die Muffe eindringen können. Vor dem Erkalten der Muffe sind sämtliche Befestigungsschrauben nochmals nachzuziehen, wodurch dann eine gute Dichtung erzielt wird. Die Schrauben sind zum Schutze gegen Rost mit Füllmasse leicht zu übergießen.

Über Muffenverbindungen bei Kabeln mit Aluminiumleitern siehe Seite 317.

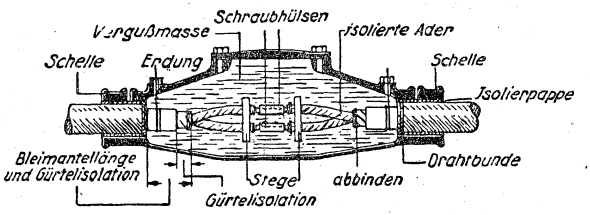


Bild 110. Verbindungsmuffe (nach DIN, VDE 7689).

Prüfung der Kabel.

Bei der Montage von Muffen, Endverschlüssen usw. ist das Kabel einer ständigen Prüfung auf etwaige Isolationsfehler, Aderbruch oder Aderverwechslung zu unterziehen.

Die Isolationsmessungen werden mit dem Kurbelinduktor oder besser mit dem Isolationsmesser mit Umformer (siehe „Meßgeräte") durchgeführt.

Es werden alle Adern bis auf die zu messende an Erde gelegt (Bild 111). Sodann ist die nächste Ader zu prüfen, wobei diese von Erde abgeklemmt und die vorher

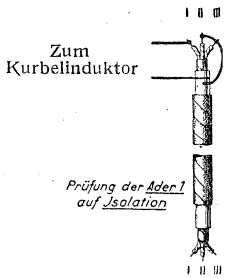


Bild 111. Kabelprüfung.

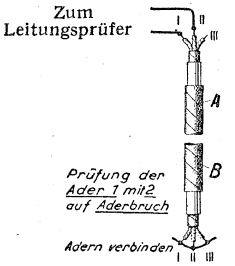


Bild 112.
Prüfung auf Aderbruch.

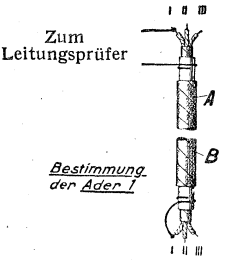


Bild 113. Bestimmung der Adernreihenfolge.

geprüfte mit an die Erde gelegt wird usw. Die Isolationsmessungen zeigen nur ein richtiges Ergebnis, wenn keine Temperaturerhöhungen (z. B. warme Muffen) in der Kabelstrecke vorhanden sind, da Erwärmungen den Isolationswert verschlechtern.

Der erste Ausschlag beim Prüfen eines Kabels ist der sog. Kapazitäts- oder Ladungsausschlag, der für den Isolationswert nicht maßgebend ist. Es gilt der Wert, der nach etwa 1 min. Prüfungsverlauf beobachtet wird.

Ungleicher Kontakt oder ungleichmäßiges Drehen des Kurbelinduktors hat neue Ladungsausschläge zur Folge. Daher besser der Isolationsmesser mit Umformer.

Das Prüfen auf Aderbruch kommt bei schwachen Leitern (Prüfdrähten) in Betracht.

Die Adern werden an einem Ende (B in Bild 112) kurzgeschlossen und z. B. die Leitungen I u. II mit dem Leitungsprüfer des Isolationsmessers gemessen.

In ähnlicher Weise erfolgt das Bestimmen der Reihenfolge der Adern, indem in der Gegenstation B z. B. Ader I mit dem Bleimantel verbunden wird (Bild 113) und in Station A der Leitungsprüfer zwischen Bleimantel und Ader I geschaltet wird usw.

Fehlerortbestimmung an Starkstromkabeln.

Bei Störungen in Kabelnetzen ist eine sichere Bestimmung des Fehlerorts von ganz besonderer Wichtigkeit. Die Anwendung genügend empfindlicher Methoden und Geräte sowie großer Sorgfalt bei der Durchführung der Messungen ist immer lohnend, da ein vergebliches Ausgraben und Öffnen des Kabels zeitraubend und kostspielig ist. Man geht daher mit den Anforderungen an die Genauigkeit sehr weit und verlangt eine Fehlerortbestimmung in den Grenzen von wenigen Metern.

Folgende Fehlerarten sind zu unterscheiden:

1. Erdschluß (leitende Verbindung einer oder mehrerer Adern mit dem geerdeten Mantel).
2. Kurzschluß (leitende Verbindung zweier Adern).
3. Leiterbruch.

Hierin stellen Erd- und Kurzschlüsse die überwiegende Anzahl aller Störungsfälle dar. Zur Fehlerortmessung haben sich in erster Linie die sog. „Kabelschleifen-Methoden" durchgesetzt, die hohe Genauigkeit mit einfacher Handhabung verbinden. Bei diesen Verfahren wird aus der kranken Ader und einer Rückleitung eine Schleife gebildet, deren auf die Fehlerstelle bezogenen Teilwiderstände mittels einer gewöhnlichen Brückenmessung bestimmt werden. Es ist dabei gleichgültig, ob es sich um einen Erd- oder Kurzschluß handelt. In den vorliegenden Abbildungen ist der Fall eines Erdschlusses angenommen.

Die einfachste, von Murray angegebene Methode zeigt Bild 114. Zum Abgleich der Brücke dient ein Schleifdraht (a—b), der zweckmäßig mit einer linearen $^0/_{00}$-Teilung α versehen wird. Der Widerstand der Verbindung zwischen Fehlerader und Hilfsleitung verfälscht das Meßergebnis und ist daher so klein wie irgend möglich zu machen. Das gleiche gilt auch für die Zuleitungen zum Meßgerät, deren Einfluß jedoch durch einen genügend hohen Schleifdrahtwiderstand vermindert werden kann.

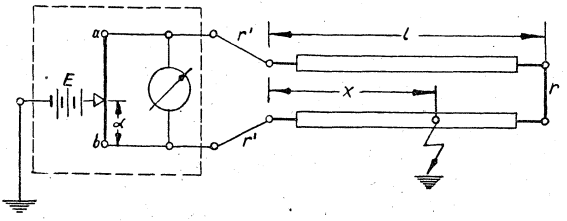


Bild 114. Fehlerortbestimmung nach Murray.

Das Verfahren nach Murray ist besonders dann angebracht, wenn eine gesunde Ader in gleicher Länge und gleichem Querschnitt als Rückleitung zur Verfügung steht. Wenn α die Stellung des Schleifers bei abgeglichener Brücke bedeutet, dann ist die Fehlerentfernung

$$x = 2\alpha \cdot l.$$

Wenn die Hilfsleitung gleiche Länge, jedoch einen abweichenden Widerstand besitzt, dann muß noch das Widerstandsverhältnis β von Hilfs- und Hauptleiter berücksichtigt werden, es ist dann

$$x = \alpha \cdot l\,(1+\beta).$$

Die Ermittlung der Konstanten β ist in manchen Fällen zeitraubend und ungenau, so daß man rascher nach der Methode von Heinzelmann zum Ziel kommt. Erforderlich sind hierfür zwei Hilfsleitungen H und H', deren Länge und Querschnitt beliebig sein können (Bild 115). Die Brücke wird zunächst mit Stellung 1 des Umschalters U abgeglichen, diese Messung entspricht derjenigen nach Bild 114. Durch Umlegen des Schalters auf Stellung 2 wird an Stelle der Fehlerlänge x die Gesamtlänge l des Kabels in die Brücke eingeführt. Sind α_1 und α_2 die bei beiden Messungen erhaltenen Stellungen des Schleifers, so ergibt sich einfach

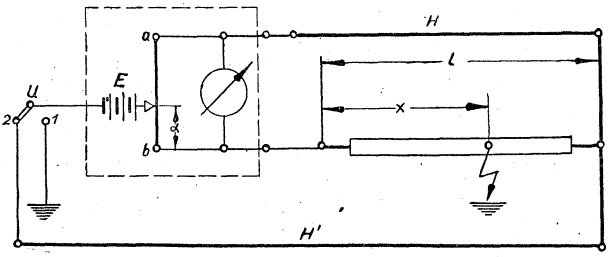


Bild 115. Fehlerortbestimmung nach Heinzelmann.

$$\frac{x}{l} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}.$$

Der Widerstand der Hilfsleitung H ist also meßtechnisch eliminiert, während der von

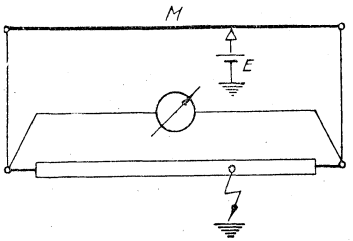


Bild 116. Meßdrahtmethode.

H' überhaupt nicht in die Messung eingeht und höchstens eine Herabsetzung der Empfindlichkeit hervorrufen kann.

Die Methode von Varley verbindet mit der Messung nach Bild 114 eine Widerstandsmessung der gesamten Kabelschleife; dies kann gegebenenfalls zur Feststellung eines Leiterbruches in der gewählten Schleife dienen.

Erwähnt sei schließlich noch die Meßdraht-Methode, bei der als Brücke ein längs des fehlerhaften Kabels von Erde isoliert ausgelegter Meßdraht M dient (Bild 116). Die einpolig geerdete Batterie wird nun nacheinander an verschiedenen Stellen an den Meßdraht gelegt, wobei unmittelbar über der Fehlerstelle der Galvanometerausschlag verschwinden muß. Durch den Vorzeichenwechsel des Ausschlages läßt sich daher die Fehlerstelle beliebig eingrenzen. Die Anwendung dieser Methode ist im allgemeinen auf kleine Kabellängen beschränkt.

Die Genauigkeit der Brückenmeßschaltungen hängt bei gegebener Galvanometerempfindlichkeit von dem Widerstand der Fehlerstelle ab. Diese kann in manchen Fällen so hoch sein, daß sich mit den in den gewöhnlichen Meßeinrichtungen eingebauten Niederspannungsbatterien keine befriedigende Genauigkeit mehr erzielen läßt. Ein solcher Fall kann eintreten, wenn bei einem Betriebserdschluß nach Abschalten des Kabels wieder Isoliermasse an die Fehlerstelle vordringt. Zum anderen machen sich beginnende Fehler, deren rechtzeitige Auffindung wichtig ist, durch eine Verschlechterung des Isolationswiderstandes bemerkbar. In allen diesen Fällen helfen Hochspannungsgleichrichter, die eine Prüfspannung vom 3—4fachen der Kabelbetriebsspannung erzeugen. Mit ihnen lassen sich auch Fehler mit hohem Übergangswiderstand leicht feststellen. Zur Fehlerortbestimmung kann dann einmal das sog. Ausbrennen der Fehlerstelle dienen, bei dem über diese so lange ein kräftiger Strom geschickt wird, bis der Widerstand genügend gesunken ist, um eine Messung mit der Niederspannungsbrücke zu ermöglichen. Außerdem kann man aber auch bei angelegter Hochspannung die Fehlerortbestimmung unter Verwendung einer besonderen Hochspannungs-Meßbrücke durchführen, deren Schaltung sich grundsätzlich von der nach Bild 114 nicht unterscheidet. Die Brücke ist nur für die Prüfspannung isoliert aufzubauen

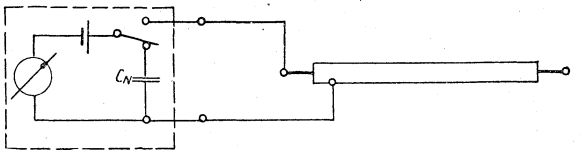


Bild 117.
Fehlerortbestimmung durch ballistische Kapazitätsmessung.

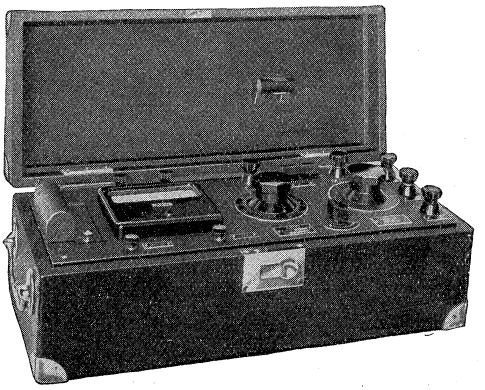


Bild 118. Kleines Fehlerortmeßgerät.

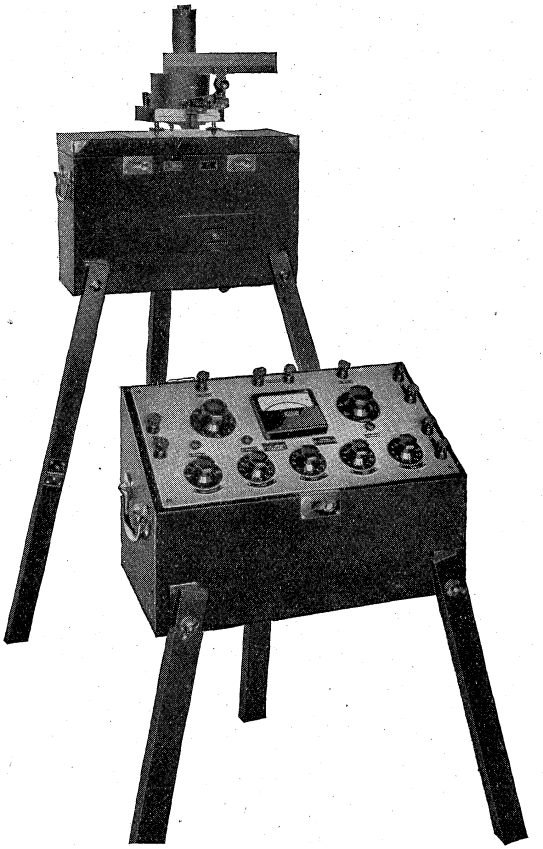


Bild 119. Großes Fehlerortmeßgerät.

sowie mit genügenden Vorrichtungen zur gefahrlosen Bedienung zu versehen.

Leiterbruch kommt auch gelegentlich vor, wenn auch in weitaus geringerem Umfange als Erd- und Kurzschlüsse. Die Ursache sind meist Erdbewegungen, wie sie vor allem in Bergbaugebieten auftreten können. In diesem Falle kann durch eine Kapazitätsmessung die Fehlerstelle ermittelt werden, wobei die Kapazität je Kilometer bekannt sein oder durch eine Vergleichsmessung an einer gesunden Ader bekannter Länge bestimmt werden muß. Es kann dabei die Kapazität einer Kabelader gegen eine andere oder gegen den Bleimantel zugrunde gelegt werden. Die Kapazitätsbestimmung erfolgt durch vergleichende Stromstoß-(ballistische) Messung mittels eines im Gerät befindlichen Vergleichs-Kondensators C_N (Bild 117).

In den meisten Fällen ist es auch erwünscht, den Isolationswiderstand des Kabels bestimmen zu können. Diese Messung erfolgt durch vergleichende Strommessung und entspricht der Schaltung nach Bild 117, wobei nur an Stelle des Vergleichskondensators ein Vergleichswiderstand tritt. Die Bestimmung des Leitungswiderstandes erfolgt dagegen durch eine Brückenmessung.

An Meßgeräten werden verwendet:

1. Kleines Fehlerortmeßgerät (Bild 118). Ausführbar sind Fehlerortsbestimmungen nach Murray oder Heinzelmann, ferner Messung des Leitungswiderstandes durch Einschalten eines zusätzlichen Normalwiderstandes.
2. Großes Fehlerortmeßgerät. Außer Fehlerortsbestimmungen ist auch die Ermittlung von Kapazität und Isolationswiderstand nach der vergleichenden Stromstoß- bzw. Strommessung möglich. Die Empfindlichkeit ist gegenüber dem kleinen Fehlerortsmeßgerät durch Verwendung eines Spiegelgalvanometers gesteigert (Bild 119).
3. Gleichstrom-Meßeinrichtung. Diese gestattet eine Art der Fehlerortbestimmung (Varley-Methode) mehr und zeichnet sich gegenüber dem großen Fehlerortmeßgerät durch größere Meßbereiche und höhere Genauigkeit der Widerstandsmessung aus.
4. Kabelprüfgleichrichter und Hochspannungsmeßbrücken, in Ausführungen dem betreffenden Bedarfsfalle angepaßt.

V. Verlegung der Leitungen in Rohr.

Nach den Vorschriften des VDE dürfen Gummiaderleitungen nur in Rohren oder auf geeigneten Isolierkörpern verlegt werden. Die weitaus verbreitetste Verlegungsart für isolierte Leitungen in Gebäuden ist die Verlegung in Rohr, der gegenüber die offene Verlegung auf Porzellanrollen als die ältere nur noch untergeordnete Bedeutung besitzt (siehe Seite 375).

Bei der Verlegung in Rohr sind folgende Punkte zu beachten:

Die Rohre sollen so verlegt werden, daß sich in ihnen kein Wasser ansammeln kann, ferner sollen im allgemeinen die lichte Weite, sowie die Anzahl und der Halbmesser der Krümmungen so gewählt sein, daß man die Drähte ohne Beschädigung einziehen kann.

Nach der Bauart unterscheidet man

Gummirohr.
Papierrohr mit gefalztem Metallmantel.
Stahlpanzerrohr mit Auskleidung für Verschraubung.
Stahlrohr ohne Auskleidung für Verschraubung.
Stahlrohr ohne Auskleidung als Steckrohr.

Über die Abmessungen der Rohre siehe nachstehende Tafel 12.

Tafel 21. Abmessungen von Installationsrohren.

Innendurchmesser	Außendurchmesser in mm				Stahlrohr ohne Auskleidung			Stahlrohr als Steckrohr	
	Gummirohr	Starkwandiges Gummirohr	Falzrohr mit Mantel aus Messingblech, verbleitem Stahlblech od. Stahlblech mit Al-Auflage	Stahlpanzerrohr	Innendurchmesser	Außendurchmesser	Gewindenennmaß	Innendurchmesser	Außendurchmesser
mm					mm	mm	Pg	mm	mm
9	12	13	13	15,2	**12,4**	15,2	9	**8,2**	10
11	14	15	15,8	18,6	**15,6**	18,6	**11**	**11,2**	13
13,5	16,5	18	18,7	20,4	**17,4**	20,4	13,5	**14,2**	16
16	20	22	21,2	22,5	**19,5**	22,5	16	**16,5**	18,5
21	—	—	—	28,3	**24,9**	28,3	21	**23,8**	26
23	27	29	28,5	—	—	—	23	**32**	34,5
29	34	36	34,5	**37**	**33**	37	29	**41,5**	44,5
36	42	45	42,5	47	**42**	47	36	**48,5**	51,5

Die Rohre werden gewöhnlich in Längen von 3 m geliefert.

Für die Verlegung in Rohren werden die in nachstehender Tafel 22 aufgeführten Gummiaderleitungen und Nulleiter verwendet. Maßgebend für die Auswahl der Rohrweite sind die Zahl und der Außendurchmesser der Leitungen. Maßgebend hierfür ist die nach den Normen des VDE aufgestellte Tafel 23.

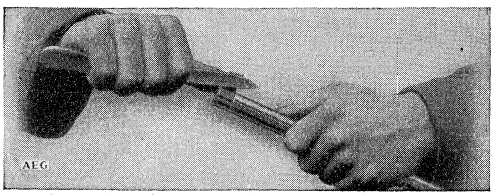


Bild 120. Abmanteln des Rohrendes.

Verlegung von Isolierrohr auf dem Putz.

Isolierrohr mit Messingmantel oder verbleitem Eisenmantel wird in Stangen von 3 m ge-

Tafel 22. Isolierte Leitungen.

Gummiaderleitungen			Nulleiter ohne Gummi	
Leiter-Querschnitt mm^2 Al, Cu	Zahl und Durchmesser der Leiterdrähte in mm	Außendurchmesser etwa mm	Zahl und Durchmesser der Leiterdrähte in mm	Außendurchmesser etwa mm
1,5 e	1 × 1,38	3,5	1 × 1,38	2,4
2,5 e	1 × 1,78	4,1	1 × 1,78	2,8
4 e	1 × 2,26	4,8	1 × 2,26	3,3
6 e	1 × 2,77	5,3	1 × 2,77	3,8
6 m	7 × 1,05	6	7 × 1,05	4,1
10 e	1 × 3,57	7,5	1 × 3,57	4,6
10 m	7 × 1,35	8	7 × 1,35	5,1
16 e	1 × 4,52	8,4	1 × 4,52	5,6
16 m	7 × 1,70	9	7 × 1,70	6,1
25 m	7 × 2,13	11	7 × 2,13	7,6
35 m	19 × 1,53	12	7 × 2,52	8,9
50 m	19 × 1,83	14	19 × 1,83	10,5
70 m	19 × 2,17	16	19 × 2,17	12,2
95 m	19 × 2,52	18	19 × 2,52	14
120 m	37 × 2,03	20	19 × 2,84	16
150 m	37 × 2,27	22	37 × 2,27	18

liefert. Die Verbindung zweier Rohre geschieht durch aufgeschobene Metallmuffen ohne Isolierauskleidung, wobei darauf zu achten ist, daß zwischen den beiden Rohrenden keine Lücke bleibt. Jedes Rohr ist am Ende „abzumanteln", d. h. der Metallmantel ist etwa 1 cm lang zu entfernen. Hierzu wird er ringsherum mit dem Montagemesser eingeschnitten und nach Lösen des Falzes abgehoben (Bild 120). Das Aufschieben der Muffen geschieht nach leichtem Anwärmen derselben mit der Spirituslampe. Diese hat sich gegenüber der teueren und

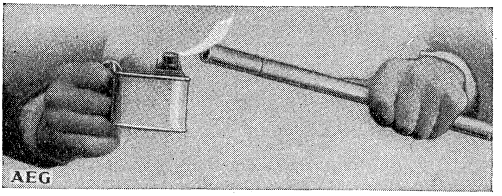


Bild 121. Anwärmen der Muffe mit der Spirituslampe vor dem Aufschieben auf das Rohr.

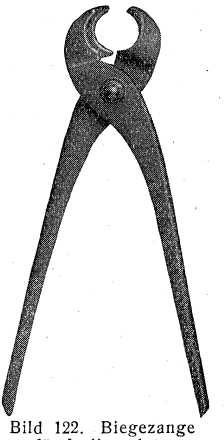


Bild 122. Biegezange für Isolierrohre.

Tafel 23. Zuordnung der Leitungen zu den Rohrweiten.

Leiter-querschnitt mm²	 1 NGA über Putz	1 NGA unter Putz	 2 NGA über Putz	2 NGA unter Putz	 3 NGA über Putz	3 NGA unter Putz	 4 NGA oder 3 NGA u. 1 NL über Putz	4 NGA oder 3 NGA u. 1 NL unter Putz	 1 NGA und 1 NL über Putz	1 NGA und 1 NL unter Putz	 2 NGA und 1 NL über Putz	2 NGA und 1 NL unter Putz
	Rohrweite in mm											
Isolierrohr mit gefalztem Metallmantel bzw. Gummirohr												
1	—	—	11	13,5	11	13,5	13,5	13,5	11	13,5	11	13,5
1,5	—	—	11	13,5	11	13,5	13,5	13,5	11	13,5	11	13,5
2,5	—	—	13,5	13,5	13,5	16	16	16	11	13,5	13,5	16
4	9	13,5	13,5	16	16	16	16	23*	13,5	16*	13,5	16
6	11	13,5	16	23*	16	23*	23	23	13,5	16	16	23*
10	13,5*	13,5	23	23	23	29*	29*	29*	23*	23	23	23
16	13,5	16	23	29*	23	29	29	36*	23	23	23	29*
25	16	23*	29	36*	29	36*	36	36	23	29*	29	36*
35	16	23	36*	36	36	36	48	48	29	36	36*	36
50	23	23	36	48	48	48	48	48	36	48	48	48
70	23	29*	48	48	48	—	—	—	36	48	48	—
95	29*	36*	48	—	—	—	—	—	48	—	—	—
120	29	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	36	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
185	36	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Stahlpanzerrohr (Stahlrohr mit Auskleidung)												
1	—	—	11	13,5	11	13,5	13,5	13,5	11	13,5	11	13,5
1,5	—	—	11	13,5	11	13,5	13,5	13,5	11	13,5	11	13,5
2,5	—	—	13,5	13,5	13,5	16	16	16	11	13,5	13,5	16
4	9	13,5	13,5	16	16	16	16	21	13,5	16*	13,5	16
6	11	13,5	16	21	16	21	16	21	13,5	16	16	21
10	13,5*	13,5	21	21	29*	29*	29	29	21	21	21	21
16	13,5	16	29*	29*	29	29	29	29	21	29	29*	29
25	16	16	29	36*	29	36*	36	36	29	29	29	36*
35	16	21	36*	36	36	36	42	42	29	36	36*	36
50	21	21	36	42	42	42	—	—	36*	42*	42*	42
70	21	29*	42	42	42	—	—	—	42*	42	42	—
95	29*	29	42	—	—	—	—	—	42	—	—	—
120	29	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	36*	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
185	36	42*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Stahlrohr (ohne Auskleidung) für Verschraubung**												
1	—	—	9	11	9	11	9	11	9	11	9	11
1,5	—	—	9	11	9	11	11	13,5	9	11	9	11
2,5	—	—	9	11	11	11	11	13,5	9	11	9	11
4	9	11	11	11	11	13,5	13,5	16	11	11	11	11
6	9	11	11	13,5	13,5	16†	16	21†	11	13,5†	11	13,5
10	11	11	16	21	21	21	21	29†	13,5	16	16	21
16	11	13,5	21	29†	21	29†	29	36†	16	21	21	29†
25	11	16	29	29	29	36†	36	36	21	29†	29	29
35	13,5	16	29	36†	36†	36	36	42	29	29	29	36
50	16	21	36	36	36	42	42	42	29	36†	36	36
70	21	29†	36	42	42	42	—	—	36	36	36	42
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Für kurze gerade Strecken bis etwa 4 m Länge kann die nächst kleinere Rohrweite verwendet werden. ** Für Stahlrohr geben die Zahlen das Gewindenennmaß an. Die Rohrweiten sind aus Tafel 21 zu ersehen.

† Für gerade oder schwach gekrümmte Strecken, insbesondere Rohre in Decken mit einem Normalellbogen an jedem Ende und höchstens 8 m Länge, kann das nächst kleinere Rohr verwendet werden.

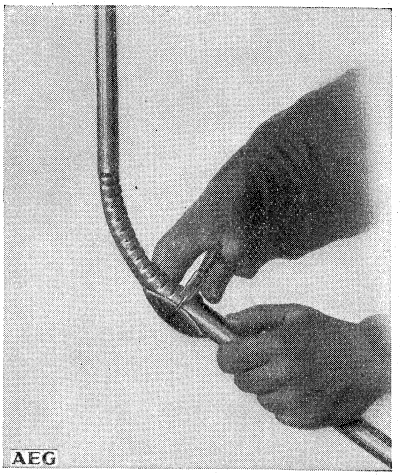


Bild 123. Biegen des Isolierrohres.

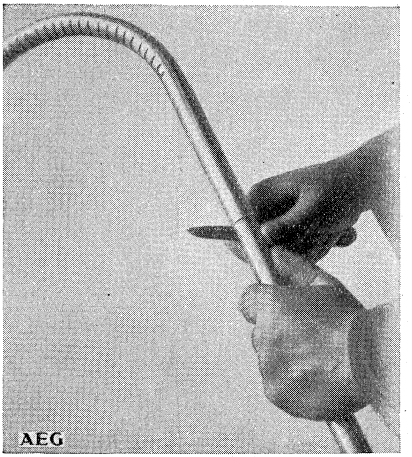


Bild 124. Abschneiden des Isolierrohres.

empfindlichen Benzinlampe für alle die Zwecke bewährt, in denen es sich nicht um das Löten von Metallteilen handelt (Bild 121). Die Rohre lassen sich mit Hilfe einer Biegezange (Bild 122) so biegen, daß sie sich der Form des Mauerwerkes genügend anpassen (Bild 123). Die Verwendung fertiger Ellbogen ist nur da am Platze, wo sich der gleiche Bogen in größerer Anzahl wiederholt. Sonst ist es sparsamer, die Rohre auf dem Bau zu biegen, da man so weniger Stoßstellen im Rohr bekommt und die ganzen Rohrlängen ohne Abfall verarbeiten kann. Für jede Rohrweite ist eine besondere Biegezange zu nehmen. Nicht passende Zangen ergeben unbrauchbare Bogen und Rohrverletzungen. Das Abschneiden des Rohres geschieht einfach durch einen ringsumlaufenden Schnitt mit dem Montagemesser (Bild 124).

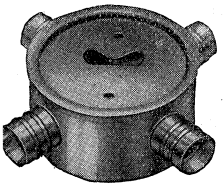


Bild 125. Stutzendose.

Wo das Biegen von Rohren kein genügendes Anpassen an das Mauerwerk gestattet, greift man zu Winkelstücken (Bild 134). Diese sollen das Einziehen und Ausziehen des Drahtes ermöglichen und sind daher teilbar. T-Stücke sollen nur da verwendet werden, wo der Weg zweier Leitungen sich teilt, ohne daß ein Abzweig des Drahtes notwendig ist; denn Lötstellen in T-Stücken zu machen, ist ver-

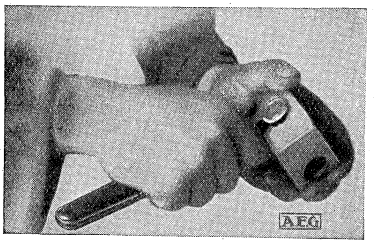


Bild 126. Die im Blechmantel markierten Anschlußlöcher werden mit dem Messer ausgeschnitten.

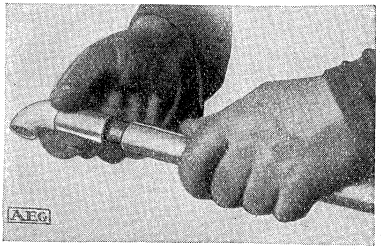


Bild 127. Auf das angewärmte Rohrende wird eine gebogene Endtülle aufgesetzt.

boten. Bei Leitungsabzweigen verwendet man ausschließlich Abzweigdosen mit eingebauten oder eingelegten Abzweigklemmen. Die gewöhnlichen Dosen zur Verlegung auf dem Putz haben vier, die größeren acht in der Isolierauskleidung ausgesparte Löcher. Der Metallmantel ist jedoch geschlossen, und lediglich eine eingeprägte Wulst läßt die Lage der Löcher erkennen. Bei der Montage werden dann nur die gerade notwendigen Löcher geöffnet, indem man entweder mit einigen Feilstrichen den Wulst durchfeilt oder das kreisrunde Metallstück mit dem Messer ausschneidet (Bild 126). Bei rechtwinkligem Zusammenlaufen der Rohre kann man zweckmäßig Dosen mit festen Rohrstutzen verwenden, die für alle Stutzenzahlen und ihre verschiedene Lage lieferbar sind (Bild 125). Kleiner und daher besser im Aussehen sind dagegen Dosen aus Porzellan mit fest eingebauten Klemmen. Endigen die Rohre weder in Abzweigdosen oder dergleichen noch in Apparaten, Schaltern usw., so werden zum Schutz der Drahtisolation Endtüllen aufgesteckt. Liegt das Rohrende auf der Wand, so sind die geraden Endtüllen zu verwenden. Endigt die Rohrleitung an der Decke, z. B. an Leuchten, so empfiehlt sich die Anwendung gebogener Endtüllen (Bild 127).

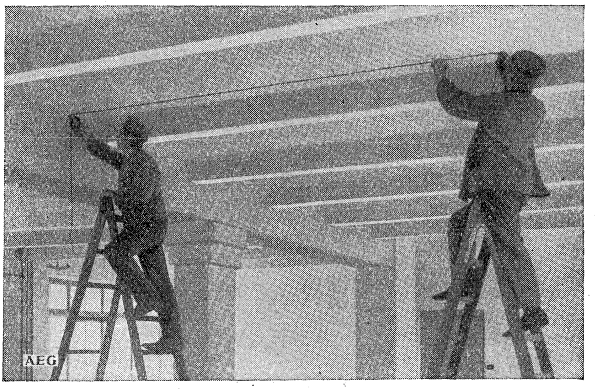


Bild 128. Ein mit Kreide oder Kohle bestrichener Bindfaden wird gespannt und gezupft. (Vorzeichnen durch Schnurschlag.)

Zur Verlegung von Isolierrohr auf dem Putz muß der Verlauf desselben vorgezeichnet werden, damit die Befestigungsstellen festliegen. Als Befestigung werden stets Schellen (Bild 131) verwendet, die meist durch Stahldübel gehalten werden. Mit einem Bindfaden, der durch Kreide oder Kohle gezogen ist, wird ein „Schnurschlag" auf der Wand gemacht, so daß sich ein gerader Strich abzeichnet (Bild 128). In angemessenem Abstand neben diesem werden die Stahldübel mit einem Setzeisen in die Wand getrieben (Bild 129). Bei Eisenbeton-Mauerwerk muß in der Regel das Loch für den Stahldübel mit Rohrbohrer vorgebohrt werden. In dem harten Material genügt zur Befestigung das Eintreiben des viereckigen Dübels in das runde Loch (Bild 132). Muß die Befestigung in Mauerwerk erfolgen, das zum Eintreiben von Stahldübeln nicht genügend fest ist, wie Hohlziegelwände oder -decken, Rohrdecken und dergl., so müssen mit Gips eingesetzte Spiraldübel verwendet werden. Mit Rohrbohrern lassen sich leicht die Löcher herstellen, in die sich die Dübel (nach Anfeuchten des Mauerwerks) mit Gips sauber einsetzen lassen (Bild 133). Vielfach haben sich Rohrschellen bewährt, die durch Einschlagen von Stahlnadeln befestigt werden. Es müssen aber Formen gewählt werden,

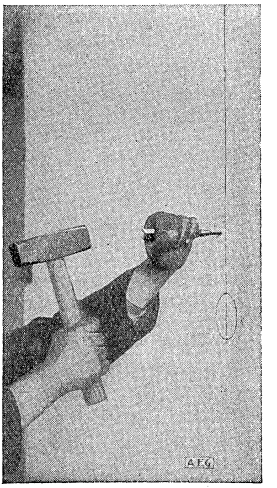


Bild 129. Neben der vorgezeichneten Schalterleitung werden die Stahldübel mit Setzeisen eingetrieben.

die ein selbsttätiges Festspannen der Nadeln erzielen lassen. Verlaufen mehrere Rohre nebeneinander, so kann die Befestigung durch gemeinsame Schellen geschehen. Der Abstand von Schelle zu Schelle soll in der Regel etwa 80 cm betragen. Hierbei ist zu beachten, daß etwa 10 cm von jedem Winkel- oder T-Stück, von jeder Abzweigdose und jedem Rohrende eine Schelle sitzen muß. Der allgemeine Verlauf der Rohre soll so sein, daß sich nirgends Wasser ansammeln kann; „Wassersäcke" sind also zu vermeiden. Bei Verlegung von Rohren an gewölbten Decken oder an solchen mit Unterzügen verwendet man Abstandschellen, die trotz der Unebenheit der Decken eine geradlinige Leitungsführung ermöglichen. Wenn aber die Umgehung eines Unterzuges und dadurch ein nach unten gerichteter Bogen notwendig ist (Bild 134), so sind hier teilbare Winkelstücke zu verwenden, welche bei Ansammlung von Wasser geöffnet werden können. Dagegen sollen derartige Bogen auf der Wand (Bild 135) keinesfalls vorkommen. Die richtige Verlegung der Rohre an solchen Punkten zeigt Bild 136.

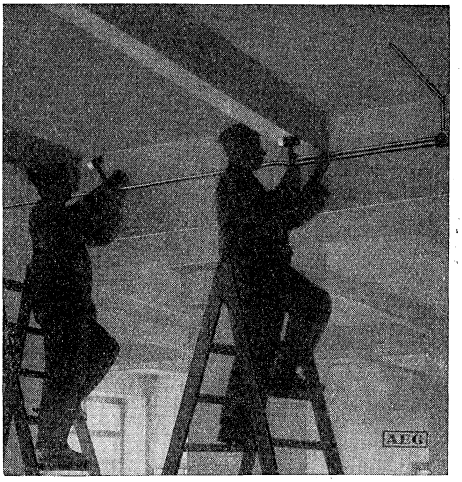


Bild 130. Neben einer bereits verlegten Rohrleitung kann man die Stahldübel ohne weiteres Vorzeichnen eintreiben.

Verlegung von Isolierrohr unter dem Putz.

Das Verlegen von Rohr unter dem Putz erfolgt in der Regel sofort nach Fertigstellung des Rohbaues, also vor dem Beginn des Putzens. Die Rohre sollen nicht „im"

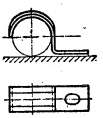


Bild 131. Normale Rohrschelle mit ovalem Befestigungsloch.

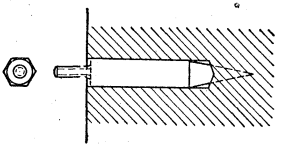


Bild 132. Bei Eisenbeton-Mauerwerk werden die Stahldübel in ein rundes vorgebohrtes Loch eingetrieben.

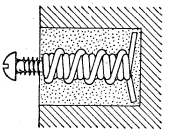


Bild 133. In Hohlziegel-Mauerwerk und dergl. müssen Spiraldübel eingegipst werden.

Putz, sondern „unter" dem Putz liegen, d. h. sie sollen mit der rohen Mauerwerkswand bündig liegen, damit sie beim Putzen möglichst geschont werden. Auch ist die Stärke des Putzes oft

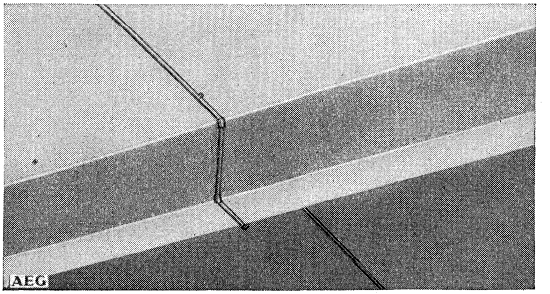


Bild 134. Bei der Umführung von Balken lassen sich U-förmige Bogen nicht vermeiden. Hier sind aber Winkelstücke zum Öffnen einzuordnen.

ungleichmäßig und nicht immer so reichlich, daß die dünne Putzschicht die Rohre genügend verdecken würde. Hieraus ergibt sich, daß zur Einbettung der Rohre Kanäle aus dem Mauerwerk ausgestemmt werden müssen. Zu diesem Zweck muß der Verlauf der Rohre vorgezeichnet werden. Hier kann man

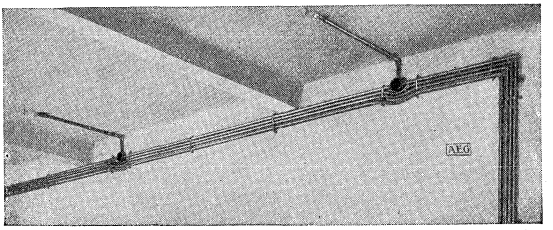


Bild 135. Falsche Verlegung der Rohre an der Dose. (Die unteren drei Rohre bilden einen „Wassersack".)

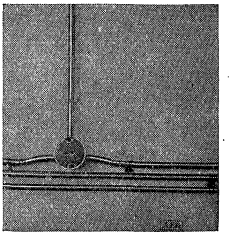
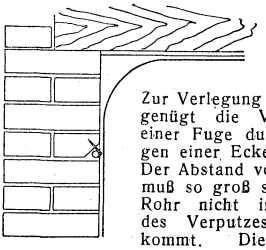


Bild 136. Richtige Verlegung an der Dose.

sich wegen der unregelmäßigen Oberfläche der Wände nicht des Abschnürens bedienen. Es kommt auch auf vollkommene Geradlinigkeit nicht an. Bei waagerechten Kanälen geben die Mauerfugen die Richtung. Man zeichnet daher die Kanäle mit Kohle vor. Kanäle für ein Rohr werden durch einen Strich markiert, breitere Kanäle durch zwei Striche in entsprechendem Abstand (Bild 137). Beim Vorzeichnen beachte man, daß Tragepfeiler, schwache Wände u. dergl. nur mit Genehmigung der Bauleitung angestemmt werden dürfen (Bild 139).

Waagerechte Kanäle für ein Rohr lassen sich am leichtesten unter Benutzung einer Mauerfuge dadurch herstellen, daß die Ecke eines Steines abgeschlagen wird (Bild 138). Für das Einlassen von Abzweigdosen, Schaltern, Verteilungstafeln usw. sind entsprechende Aussparungen mit auszustemmen. Es ist darauf zu achten, daß das Rohr stets in schlankem Bogen geführt werden kann. Vor allem bei inneren Ecken (Bild 140) muß das Rohr so tief eingelassen werden, daß es auch in der Mitte des Bogens gut bedeckt wird. Da bei Verlegung unter Putz das Auswechseln von Drähten stets mit Sicherheit möglich sein muß, macht sich bei langen Strecken unter Umständen auch die Anordnung von Durchgangsdosen notwendig, die nur dem Zweck dienen, nicht gar zu



Zur Verlegung eines Rohres genügt die Verbreiterung einer Fuge durch Abschlagen einer Ecke der Steine. Der Abstand von der Decke muß so groß sein, daß das Rohr nicht in Hohlkehle des Verputzes zu liegen kommt. Die Heftnägel werden in die senkrechten Fugen eingeschlagen.

Bild 138.

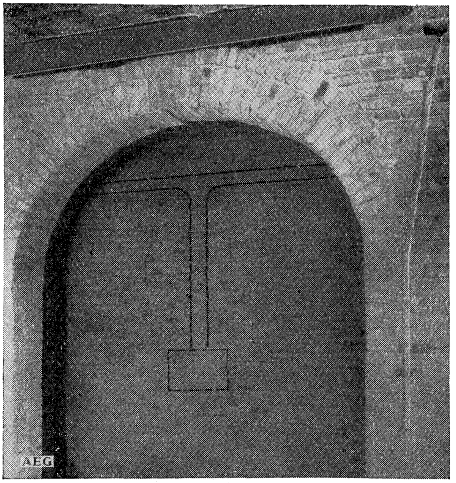


Bild 137. Vorgezeichnete Nische für Verteilungstafel und Rohrkanal. Rechts ein ausgestemmter Kanal für eine Schalterleitung.

große Drahtlängen einziehen zu müssen. Verzweigungen von Leitungswegen müssen hier stets durch Dosen hergestellt werden. Die Anordnung der Dosen muß wohlüberlegt werden. Zunächst ist darauf zu achten, daß sie nicht später durch bauseitig vorgesehene Verputzhohlkehlen verdeckt werden. Sie dürfen also nicht hart an der Decke sitzen, sondern man wählt in der Regel die sechste Steinschicht unter dem Balken. Dann ist darauf zu achten, daß sie in einem Raume alle in gleicher Höhe sitzen, da man nach dem Putzen nur noch die Dosendeckel, nicht aber die Rohre sieht. Damit die Dosen nach dem Putzen mit der Wandfläche bündig sitzen, empfiehlt sich die Verwendung einer Holzlehre (Bild 141), welche der Stärke des Putzes entspricht und für die ebene Lage der Dose sorgt. Ferner ist auf den Abstand der Schalter von den Türöffnungen zu achten. Da die Türfutter (Türbekleidung) noch nicht vorhanden sind, soll man möglichst deren Breite in Erfahrung bringen. In der Regel genügt ein Abstand des Schalters von 25 cm von der Mauerkante. Hieraus ergibt sich auch, daß man die Drehrichtung der Türen kennen muß, damit die Schalter nicht hinter den Türen, sondern an derjenigen Seite sitzen, an der sich die Türschlösser befinden. Die Schalterhöhe muß ebenfalls vom unteren Balken aus gemessen werden, da auch der Fußboden nicht fertig ist. Hierfür nimmt man meist 1,25 m an. Handelt es sich um die Anbringung von Wandbekleidungen aus Holz oder Kacheln, Mettlacher Platten u. dergl., so bedarf es genauer Angaben über deren Höhe und Ausführung, da die Schalter nicht gerade an der Kante oder im Gesims der Verkleidung sitzen können, auch häufig in waagerechter Richtung eine ganz bestimmte Stelle in der Zeichnung der Bekleidung einnehmen müssen (Bild 137).

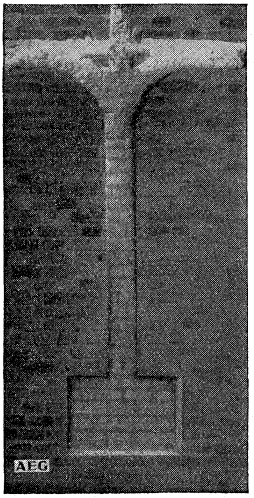


Bild 139. Die in Bild 137 dargestellte Verteilung nach dem Ausstemmen.

Die Verlegung von Isolierrohr mit Metallmantel geschieht nach dem Ausstemmen der Kanäle ebenso wie auf dem Putz. Lediglich die Befestigung braucht nicht mit Schellen zu erfolgen. Es genügt, wenn die Rohre mit Drahtstiften geheftet werden, die schräg in die Fugen wechselweise nach oben und unten eingeschlagen werden. Nach der Verlegung der Rohre empfiehlt es sich, sie dadurch vollkommen festzulegen, daß sie entweder in Abständen von 1—2 m oder auch im ganzen Verlauf mit Gips bis zur Vorderfläche des rohen Mauerwerks bedeckt werden (Bild 144). Die Verwendung von Winkel- und T-Stücken ist unter Putz ausgeschlossen, aber auch Dosen können nur in bestimmten Arten verwendet werden. Die Dosen müssen nämlich mit dem Putz genau bündig sitzen. Haben die Dosen nun aufliegende Deckel, so würden diese aus der Wandebene hervorragen und sehr auffallend sein. Die Dosen aber um die Deckelstärke tiefer einzulassen, ist auch nicht möglich, da dann bei Abnehmen des Deckels der Putz ausbröckeln würde. Man verwendet daher gern Dosen, die entweder einen eingelassenen Deckel haben oder mit einem Blechdeckel von verschwindend geringer Stärke verschlossen werden. Während auf Putz die Lage der Rohranschlüsse an der Abzweigdose wegen des guten Aussehens immer rechtwinklig zueinander sein soll, kann unter Putz die Anordnung der Löcher beliebig sein. Daher nimmt man hier

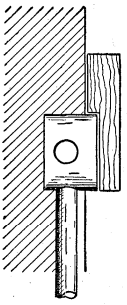


Bild 141. Zum genauen Einsetzen der Dosen wird eine Holzschablone benutzt, die der Stärke des Putzes entspricht.



Bild 140. Auf schlanke Bogen in inneren Ecken ist besonders zu achten.

gern Dosen, die keine fertigen Löcher haben, sondern die man erst auf dem Bau selbst nach Bedarf locht.

Verlegung von Gummirohr ohne Metallmantel unter Putz.

Viel bequemer ist für die Verlegung unter Putz Gummirohr ohne Metallmantel. Es wird ebenfalls in 3 m langen Stücken geliefert, ist aber im ganzen so biegsam, daß es ohne weiteres mit der Hand allen Krümmungen angepaßt werden kann und sich auch allen unvermeidlichen Unebenheiten des Mauerwerks vollkommen anschmiegt (Bild 143). Die Verbindung geschieht durch einfaches Zusammenschieben in entsprechenden Muffen. Die Befestigung erfolgt in gleicher Weise wie bei Isolierrohr mit Metallmantel durch wechselseitig in die Fugen eingeschlagene Drahtstifte. Bei einem Wechsel der Leitungsrichtung, also bei allen schärferen Krümmungen, Ellbogen und dergl., werden über das Rohr Wendel aus verzinktem Eisendraht geschoben, die eng gewickelt sind, so daß Windung an Windung liegt. Nach dem Aufschieben zieht man die Wendel dann so auseinander, daß zwischen zwei Windungen etwa 1 cm Abstand ist (Bild 140). Dadurch wird dem weichen Rohr diejenige Festigkeit gegeben, welche zur Vermeidung von Knicken und zum leichten Einziehen des Drahtes notwendig ist. Auch an allen frei aus der Wand hervorragenden Enden des Rohres empfiehlt sich die Verwendung von Wendeln als Schutz gegen Beschädigungen bei späteren Bauarbeiten (Bild 145). Über die Anordnung von Abzweigdosen gilt das bei der Verlegung von Isolierrohr

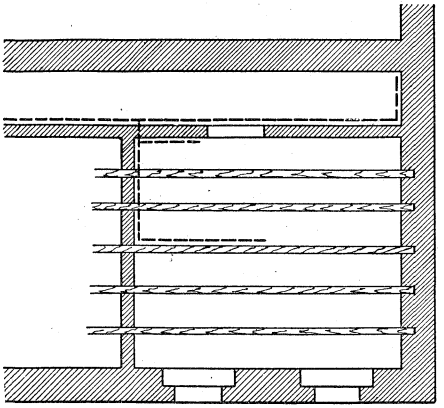


Bild 142. Die Deckenübergänge sollen den Balken parallel laufen, damit die Rohre an den Seiten der Balken befestigt werden können. (Die punktierte Linie zeigt den Verlauf der Leitungsrohre.)

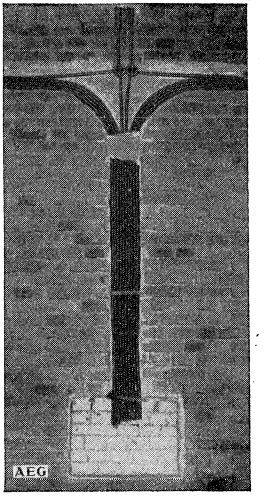


Bild 144. Fertige Gummirohrverlegung an der Verteilung.

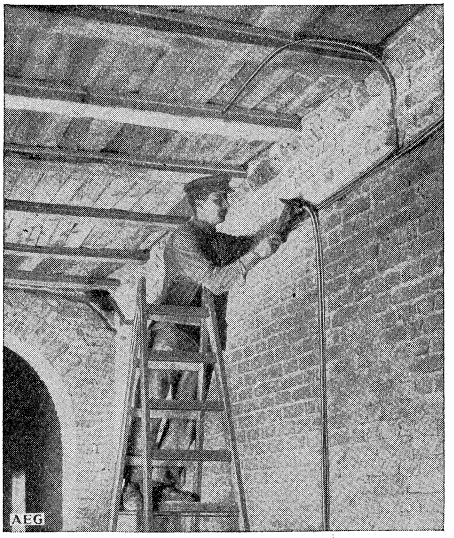


Bild 143. Verlegung des Gummirohrs. Heften mit Drahtstiften.

mit Metallmantel unter Putz Gesagte, doch verwendet man hier dem Rohr entsprechend auch Dosen aus Isolierstoff (nicht Papier) ohne Metallmantel. Die Löcher für die Rohre werden hier ebenfalls auf dem Bau gebohrt, gebrannt oder gestanzt. Einer gewissen Beachtung bedarf die Behandlung des Gummirohrs vor der Verlegung. Im Winter ist es frostfrei zu lagern. Ein einzelnes Rohr wird am besten zu einem Ring von größerem Durchmesser zusammengebunden. Größere Mengen sollen auf eine Latte gebunden oder besser in Kisten befördert werden.

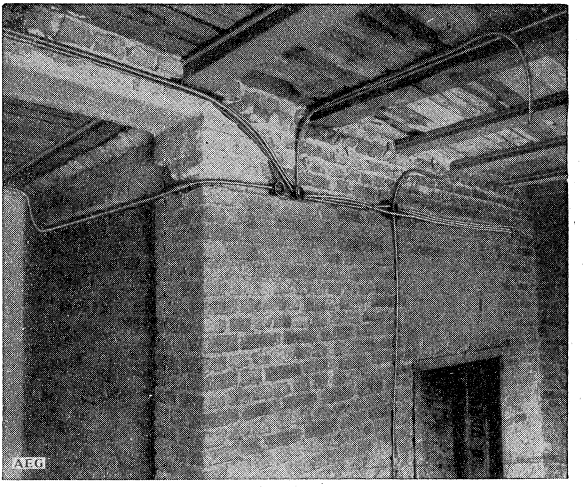


Bild 145. Fertige Gummirohrverlegung unmittelbar vor dem Putzen.



Bild 146. Einschieben des Stahlbandes und Einziehen des Drahtes.

Einziehen der Drähte.

Das Einziehen des Drahtes in das bereits verlegte Rohr geschieht bei allen Rohrarten in gleicher Weise. Es empfiehlt sich, solange wie möglich damit zu warten, damit das Mauerwerk, wenigstens aber die Rohre im Innern ausgetrocknet sind. Hierzu läßt man entweder alle Dosen offen oder sorgt durch Löcher in den Deckeln für guten Durchzug der Luft. Um den Draht einzuziehen, wird ein Stahlband von 3 bis 5 mm Breite mit demjenigen Ende, an welchem sich eine Kugel befindet, in das Rohr geschoben, bis es an der nächsten Öffnung, Dose, Schalter oder dergl., herauskommt. An dem anderen in eine Öse auslaufenden Ende des Stahlbandes werden die Drähte angebunden. Man zieht immer alle in ein Rohr gehörigen Drähte gleichzeitig ein, indem man einen Draht an dem andern befestigt (Bild 146). Hierbei ist darauf zu achten, daß die Bindestelle nicht zu dick wird. Während ein Mann am Stahlband zieht, schiebt ein anderer die Drähte nach. Man kann diese auch zum besseren Schlüpfen mit Talkum bestreichen, indem man dies in die Hand nimmt und die Drähte hindurchzieht.

Nach fertiger Verlegung des Rohres und Einziehen des Drahtes können die Verbindungen der Drähte in den Abzweigdosen hergestellt werden. Die Verbindungsklemmen sind stets auf Unterlagen aus Isoliermaterial befestigt. Der Draht braucht nur abisoliert und in Form einer Öse oder bei Buchsenklemmen auch geradlinig eingeführt zu werden.

Beim Entfernen der Isolation des Drahtes muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß der Leiter selbst nicht verletzt wird. Der zu Lichtanlagen in der Regel verwendete Draht kann sonst dabei eingeschnitten werden, so daß er eine Verringerung des Querschnittes erleidet und bei späterem Biegen leicht abbricht. Man darf daher die Isolation niemals quer einschneiden (Bild 147), sondern nur mit dem Messer am Draht entlang in einzelne Längsstreifen schneiden, bis die Isolation ringsherum entfernt ist (Bild 148).

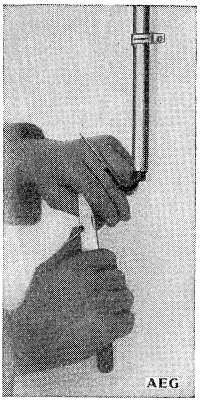


Bild 147.
Falsches Abisolieren quer zum Draht.

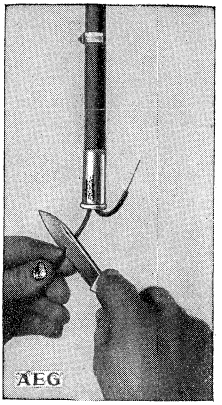


Bild 148. Richtiges Abisolieren. Messer fast parallel zum Draht geführt.

lenklemmen, die auf ihrem Oberteil zwei Maulklemmen für die quer abgeführte Abzweigleitung tragen. Eine isolierende Zwischenplatte deckt die Hauptleitung gegen die Abzweigleitungen ab. Zum Schluß wird die Abschlußkappe aufgesetzt und festgeschraubt. Nicht benutzte Anschlußklemmen werden durch Isolierhülsen gegen Berührung geschützt. Die nicht benutzten Öffnungen der Kappe können durch Schieber geschlossen werden.

Ähnliche Abzweigkästen werden auch in Gußeisen namentlich für größere Querschnitte ausgeführt.

Ein Auflöten oder Aufschweißen (bei Al-Leitungen) von Kabelschuhen ist bei Verwendung dieser Kästen nicht erforderlich.

Verlegung von Stahlpanzerrohr.

Stahlpanzerrohr mit und ohne Auskleidung (Stahlrohr) wird dort verwendet, wo ein erhöhter mechanischer Schutz der Leitungen erforderlich ist, wie er durch Isolierrohr nicht erreicht wird. Es wird meistens offen auf Wänden, an Decken, Maschinen,

Zur Verbindung von Leitungen in Rohrdosen dürfen nur Schraubverbindungen gewählt werden. Lötstellen sind verboten, weil sie nicht genügend nachgeprüft und bei Störungen nicht gelöst werden können.

Abzweigkästen.

Während bei den kleineren Leitungsquerschnitten die in die Dosen eingelegten Klemmen ausreichen, werden für die größeren Querschnitte der Haupt- und Steigeleitungen Abzweigkästen zur Anordnung auf Putz verwendet. Bild 149 zeigt einen solchen Kasten aus Isolierstoff, der so ausgeführt ist, daß die Leitungen ohne Zerschneiden durchgeführt werden können. Das flache Unterteil des Kastens wird unter die bereits verlegte Hauptleitung geschoben, diese an der Klemmstelle abisoliert in die Klemmen eingelegt und festgeschraubt. Diese Klemmen sind Schel-

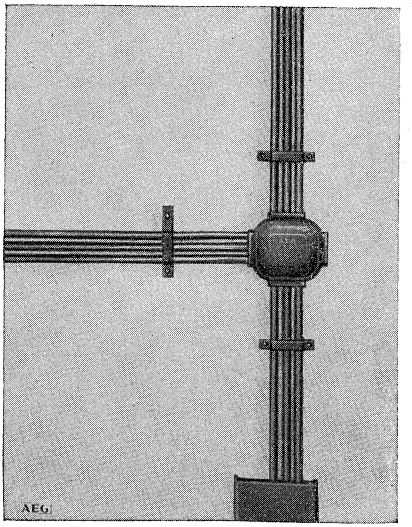


Bild 149.
Steigeleitungsabzweig mit Abzweigkasten.

z. B. Werkzeugmaschinen, auf Kranen usw. verlegt. Die Verbindung der Rohre erfolgt durch aufgeschraubte Muffen, der Anschluß an Geräte ebenfalls durch Verschraubung, wobei ein dichter Abschluß in der Regel nicht erforderlich ist. Wird das Stahlpanzerrohr in den Wänden, also unter Putz, oder als Deckenübergang in den Fußboden verlegt, so verlangt man auch einen dichten Abschluß gegen die Umgebung.

Man hat früher Stahlpanzerrohr mit mehr oder weniger Erfolg zum Schutz der Leitungen gegen Feuchtigkeit z. B. in Molkereien, Waschküchen usw. verwendet, für welchen Zweck aber heute Feuchtraumleitungen (siehe Seite 369) oder für größere Querschnitte Bleikabel in Gebrauch sind.

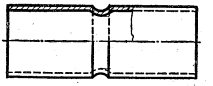


Bild 150. Verbindungsmuffe für Steckrohre (Stahlrohre).

Das Stahlpanzerrohr mit Auskleidung ist die ältere Bauart, wird aber namentlich, wenn große Mengen in Frage kommen, durch das Stahlrohr ersetzt, welches im Innern durch einen Lacküberzug geschützt ist. Beide Rohrarten werden außen rostgeschützt geliefert. Das Stahlrohr bietet den Vorteil, bei gleichem Außendurchmesser einen größeren Innendurchmesser aufzuweisen, also stärkere Leitungsquerschnitte aufnehmen zu können, hat aber keine Isolierauskleidung.

Das Stahlrohr wird ferner als sog. Steckrohr hergestellt, bei welchem die Verbindung durch Steckmuffen aus Stahl (Bild 150) erfolgt, so daß auch hier der gewünschte mechanische Schutz erreicht wird.

Die Verarbeitung des Rohres für Verschraubung erfolgt, soweit es sich um das Aneinandersetzen der Einzelrohre und das Anpassen an die Verlegungsstelle handelt, folgendermaßen: Die 3 m langen Rohre, welche an beiden Enden Gewinde haben, müssen, soweit nicht eine volle Länge gebraucht werden kann, auf Länge zugeschnitten werden. Dies geschieht im Rohrschraubstock mit der Bogensäge (Bild 151). Bei Stahlpanzerrohren wird der in der Isolierauskleidung sich bildende Grat mit dem Montagemesser weggeschnitten, die äußere Metallkante mit der Feile etwas gebrochen (Bild 152), um das Schneideisen zum Aufschneiden des Gewindes gut ansetzen zu können (Bild 153). Bei Stahlrohr ohne Auskleidung wird auch der innere Grat mit der Bohrwinde und einem Kegelfräser entfernt. Die Länge des Gewindes muß in der Regel die halbe Muffenlänge sein. Lediglich an Stellen, an welchen von zwei Seiten aus fest verlegte Rohre durch ein Mittelstück geschlossen werden, muß ein sogenanntes Langgewinde aufgeschnitten werden, um die Muffe in ihrer ganzen Länge auf ein Rohrende aufschrauben und nach Einlegen des schließenden Mittelstückes über dieses zurückschrauben zu können (Bild 154). Die Anpassung an Krümmungen erfolgt bei Stahlpanzerrohr in erster Linie durch Biegen des Rohres. Dies geschieht ohne Anwärmen in der Biegevorrichtung (Bild 156) durch Ziehen an dem längeren Rohrende. Die Biegevorrichtung wird am besten auf einen Bock aufgeschraubt. Für jede Rohrweite sind besondere Formstücke zu verwenden. Wiederholt sich derselbe Bogen

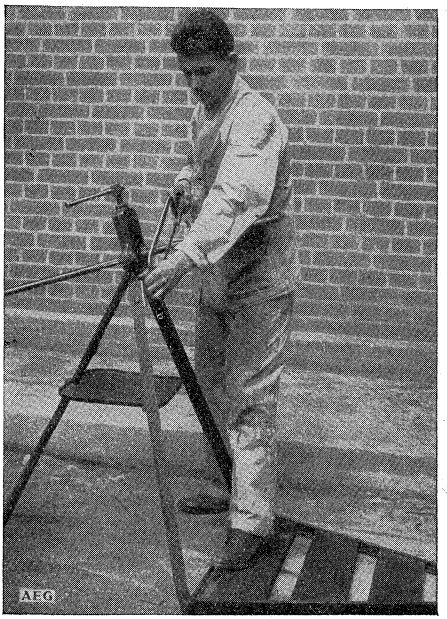


Bild 151. Ein leicht zusammenlegbarer, aber feststehender Rohrschraubstock ist für die Verarbeitung von Stahlpanzerrohr am besten.

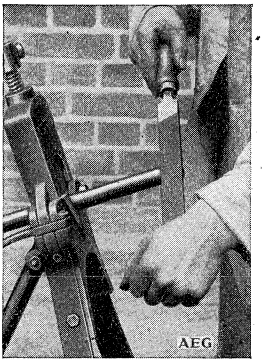


Bild 152.
Brechen der Rohrkante.

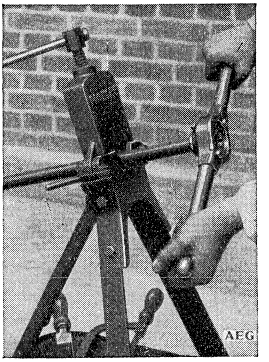


Bild 153.
Aufschneiden des Gewindes.

sehr häufig, so empfiehlt es sich, nach einem angepaßten Muster gleich die erforderliche Anzahl hintereinander herzustellen. Für derartige Fälle werden auch fertige Ellbogen geliefert, die aber dadurch wieder mehr Arbeit machen, daß zum Anschrauben ein Rohrende mit Gewinde versehen werden muß, was beim Biegen im Stück nicht nötig ist. Beim Übergang von einer Rohrweite auf eine andere, wie dies z. B. bei Abzweigen an den Stutzen einer Dose vorkommt, werden Übergangsnippel verwendet. Diese haben außen das Gewinde des weiteren Rohres und innen dasjenige des engeren (Bild 155).

Bei Wechsel- und Drehstrom müssen die Leitungen aller Pole in einem gemeinsamen Rohr verlegt werden, da bei Verlegung nur eines Drahtes in einem Rohr sich eine unzulässige Erwärmung des Rohres und dementsprechend auch ein bedeutender Leistungsverlust einstellen würde (Bild 157). Bedingen starke Leitungsquerschnitte hierbei Rohrweiten, welche als Stahlpanzerrohre nicht mehr hergestellt werden, so nimmt man gewöhnliches Gasrohr und die entsprechenden Bogen und Formstücke, die man dann, wie Bild 158 zeigt, verlegen kann.

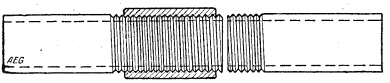


Bild 154. Langgewinde zur Verbindung von zwei festliegenden Rohren

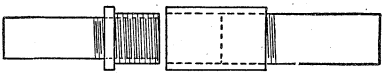


Bild 155. Anwendung eines Reduziernippels zur Verbindung von zwei verschieden weiten Rohren.

Bei der offenen Verlegung der Stahlrohre geschieht das Vorzeichnen der Maurerarbeiten, das Einsetzen von Dübeln und Befestigungsvorrichtungen ebenso wie bei Isolierrohr mit gefalztem Metallmantel. An Maschinen und Eisenträgern erfolgt die Befestigung der Schellen durch Einbohren von Gewindelöchern in die Eisenteile

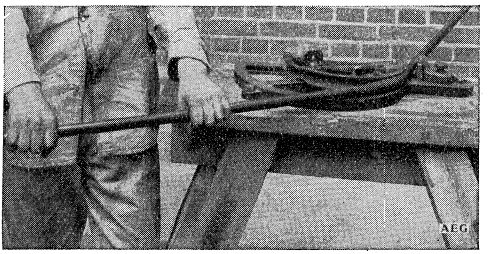


Bild 156.
Biegen von Stahlpanzerrohr auf dem Biegebock.

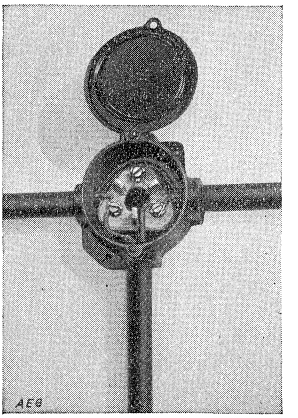


Bild 157.
Fertig verlegte Schalterleitung.

(Bild 159 und 160). Bei Verlegung des Rohres an der Decke kann man von seiner Festigkeit noch durch freitragende Aufhängung Gebrauch machen, indem man es nach Art der Gas- und Wasserrohre in Bandeisenschlaufen hängt, während eine starre Befestigung nur an den Abzweigkästen vorgenommen wird (Bild 161).

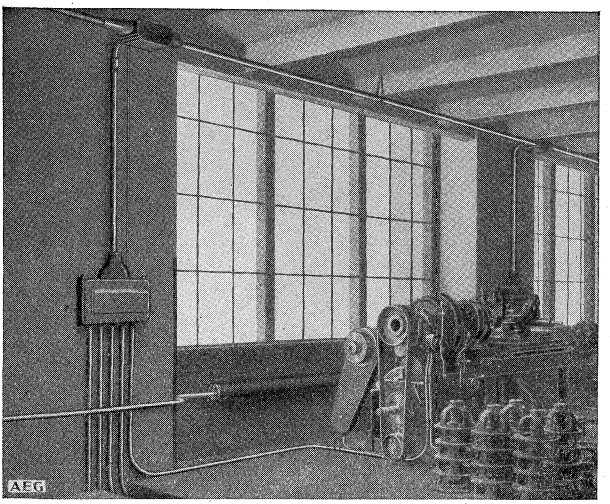


Bild 158. Verlegung in Gasrohr und Stahlpanzerrohr.

Bei der Verlegung unter Putz ist zu unterscheiden zwischen der Verlegung in der Wand, wo es nur gelegentlich als nagelsicherer Ersatz für Gummi- oder Isolierrohr dient, und der Verlegung in der Decke. Bei ersterer Verwendungsart ist die Vorbereitung zur Verlegung, das Vorzeichnen, Stemmen der Kanäle, ebenso wie bei der gewöhnlichen Isolierrohrverarbeitung auszuführen. Dabei macht das genau ebene und bündige Einsetzen der Abzweigdosen und Schaltergehäuse oft Schwierigkeiten. Es empfiehlt sich daher, gleich im Anschluß an die Verlegung um die Dosen herum einen Kranz putzen zu lassen, der bei kleinen Ungenauigkeiten einen allmählichen Übergang auf die Wandflächen gestattet.

Bei der Verlegung in der Decke, also unter dem Fußboden des oberen Stockwerkes, handelt es sich zunächst nur um den einfachen Deckenübergang in Beleuchtungsanlagen, das ist das Verbindungsrohr zwischen dem Auslaß der Leuchte und der nächstliegenden Wand. Dieser besteht in der Regel nur aus einem geraden Rohr und einem rechtwinkligen Krümmer an jedem Ende.

In weiten saal- oder hallenartigen Räumen, wo die Stahlpanzerrohre in der Decke verlegt werden müssen, werden die Lichtauslässe gleichzeitig als Abzweigstellen verwendet. Diese Verlegungsart wird in Warenhäusern, Verwaltungsgebäuden und dgl. angewendet. Hier werden zunächst die Deckendurchbrüche an den Punkten vorgezeichnet, an welchen die Leuchten später hängen sollen. In der Regel geschieht dies durch „Abschnüren", indem man sich nach der Einteilung der Decke richtet (Bild 163.)

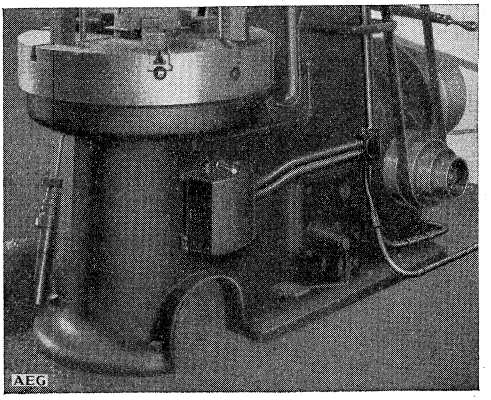


Bild 159. Stahlpanzerrohrverlegung an einer Werkzeugmaschine.

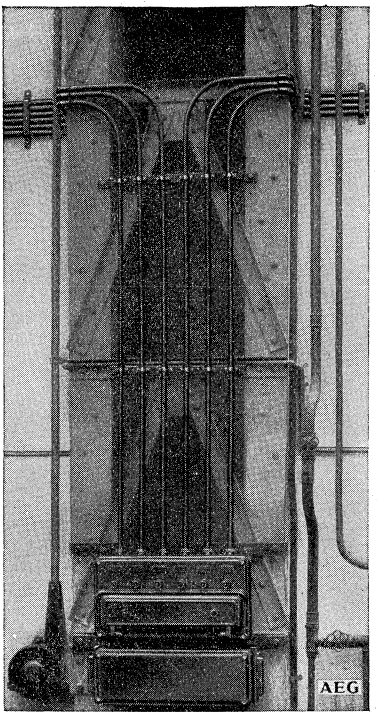


Bild 160. Verlegung von Lichtleitungen in Stahlpanzerrohr an einem Eisenträger.

Nachdem von unten durchgestemmt ist, kann auf der Decke mit der Rohrverlegung begonnen werden. Die von Leuchte zu Leuchte laufenden Rohre werden zugepaßt und lose

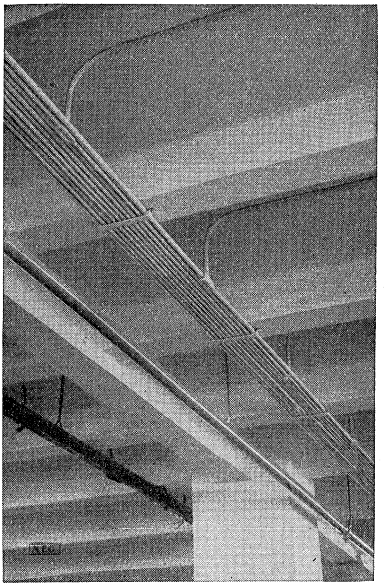


Bild 161. Freitragende Stahlpanzerrohre an der Decke.

auf die Decke gelegt (Bild 162). Bei Kreuzungen müssen geringe Kröpfungen gemacht werden, die nach unten gerichtet sind, damit die Rohre nicht mehr als eine

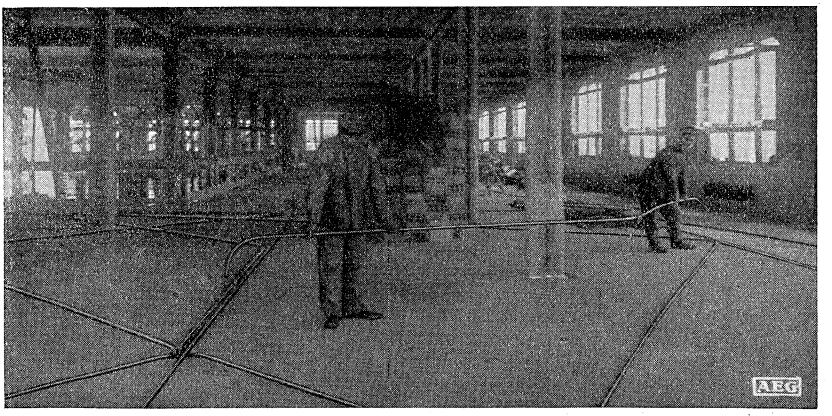


Bild 162. Verlegen der Stahlrohre auf der Decke.

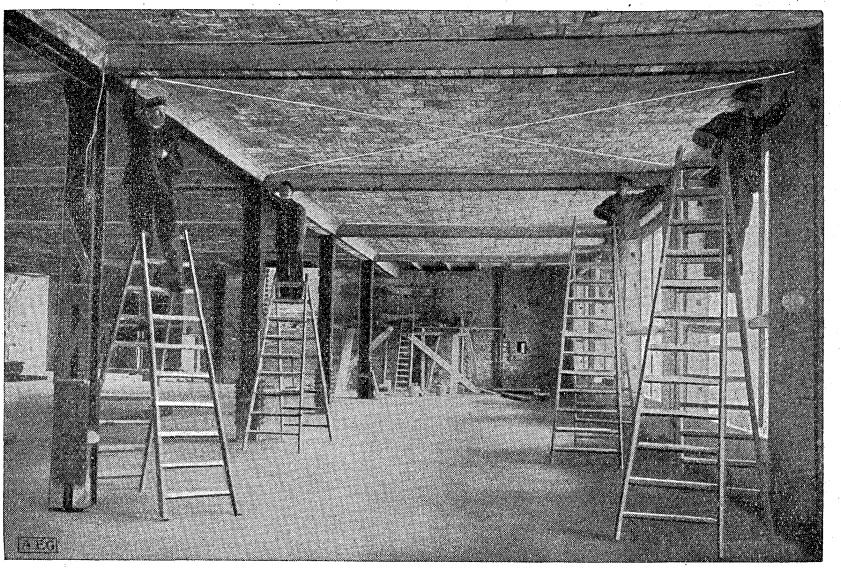


Bild 163. Vorzeichnen des Deckendurchbruches durch Abschnüren.

Rohrstärke auftragen (Bild 164). An den Auslässen für die Leuchten laufen dann mehrere Rohre zusammen (Bild 165). Schließlich sammeln sich alle Rohre an den Verteilungsstellen (Bild 166). Da diese aber in demjenigen Stockwerk liegen müssen, welches von den zugehörigen Leuchten beleuchtet wird, so müssen die Rohre nach unten geführt

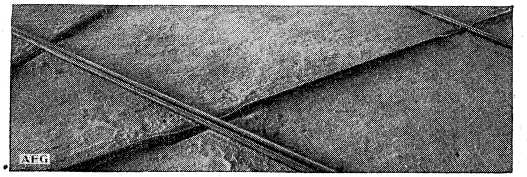


Bild 164
Kreuzung von Stahlpanzerrohren auf der Betondecke.

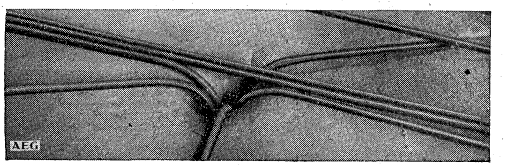


Bild 165. Stahlrohre über einem Deckendurchbruch.

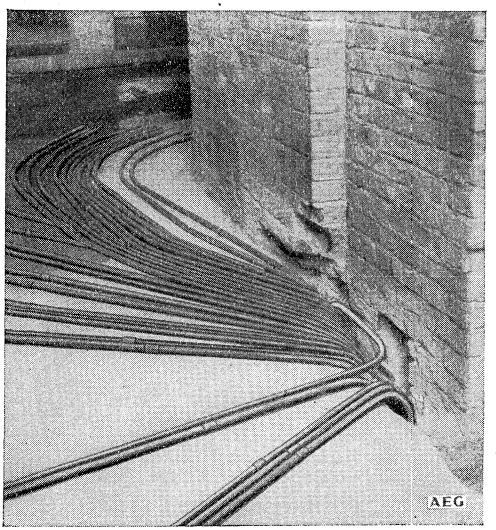


Bild 166. Die Rohre sammeln sich zur Herunterführung über der Verteilungstafel.

werden (Bild 167); die Verteilungsstelle, welche auf der meist allein verfügbaren Treppenhauswand zu sitzen pflegt, wird hierzu durch eine Rohrnische mit der Decke verbunden, die, wenn nicht vorher schon ausgespart, vorgezeichnet (Bild 168) und danach ausgestemmt werden muß.

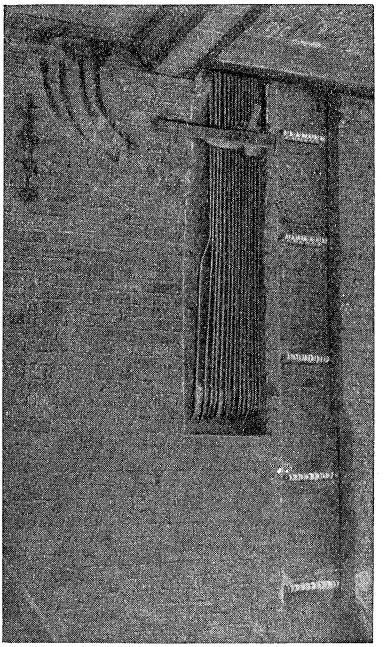


Bild 167. Herunterführung der Stahlpanzerrohre zur Verteilungstafel in der ausgestemmten Mauernische.

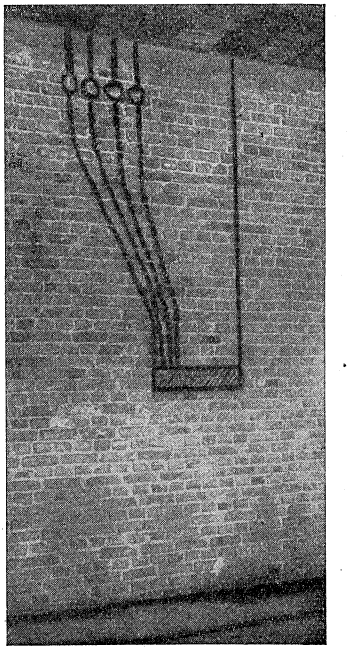


Bild 168. Vorgezeichneter Verlauf der auszustemmenden Kanäle und Nischen.

VI. Verlegung von Leitungen im Putz (Impu-Leitung).

Eine weitere Möglichkeit der Leitungsverlegung in der Wand, also verdeckt, ist dadurch gegeben, daß auf eine besondere Schutzhülle (Rohr) und auf die Auswechselbarkeit ohne Abschlagen des Putzes verzichtet wird. Der Leitgedanke bei Ausbildung dieser Verlegung war, die Stemmarbeiten bei der Unterputzverlegung der Rohre und für den Einbau der zugehörigen Schalter und Dosen in Wegfall zu bringen und damit eine erhebliche Arbeitsersparnis zu erzielen. Auch fällt das Wegräumen des sonst anfallenden Schuttes fort. Wichtig ist, daß bei einer solchen Verlegungsart die dünnen Leichtwände in Siedlungshäusern nicht wie bei Rohrverlegung durch Ausstemmen der Kanäle geschwächt werden. Die zur Verlegung kommende Leitung muß sich leicht auf der rohen unverputzen Wand befestigen lassen und so flach sein, daß sie in der dünnen etwa 10 mm starken Putzschicht untergebracht werden kann, also durch den Putz geschützt wird und nirgends Unebenheiten in der verputzten Wandfläche bildet.

Hierzu eignet sich die in Bild 169 dargestellte **Impu-Stegleitung,** die mit Cu-Leiter für 1, 1,5 oder 2,5 mm², für Al mit 2,5 oder 4 mm² Querschnitt hergestellt wird. Die Leiter sind mit Gummi umpreßt und erhalten darüber eine gemeinsame Umhüllung aus einer Gummiregeneratmischung, die zwischen den Adern Stege bildet. Die Gummiadern selbst sind farbig gekennzeichnet. Zur Herstellung von Bogen wird der Steg zwischen den einzelnen Leitungen aufgeschnitten, so daß sich die Leitung ohne Verdickung an der Krümmungsstelle verlegen läßt (Bild 170). Die Befestigung auf der rohen Wand erfolgt durch Einschlagen von Stahlnägeln in den Steg in Abständen von etwa 30 cm (Bild 171), aber jedenfalls so, daß die Leitung flach auf die Wand zu liegen kommt. Die Leitung läßt sich auch durch Anbringung von Gipspflastern oder durch geeignete ähnliche Mittel befestigen. Obwohl dem grundsätzlich nichts im Wege

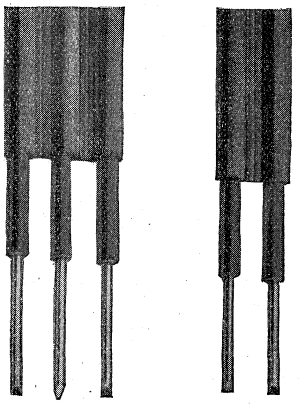


Bild 169.
Impu-Stegleitung drei- und zweiadrig.

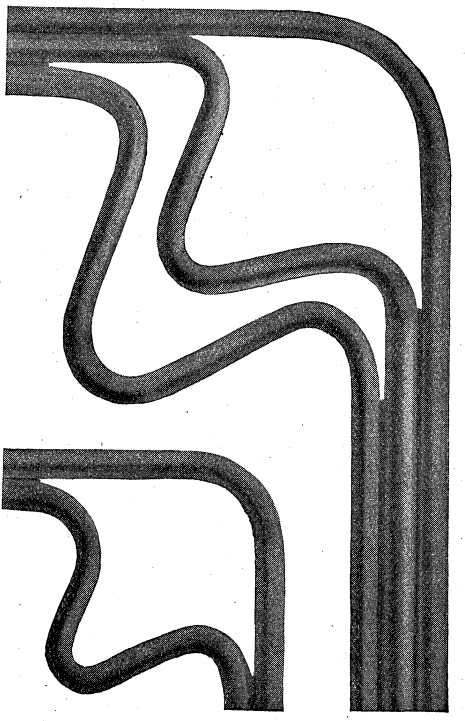


Bild 170. Zur Herstellung von Bogen wird der Steg der Impu-Leitung aufgeschnitten und die Leitung flach auf die Wand gelegt.

steht, Stegleitungen schräg quer über die Wand zu verlegen, wird man dies doch vermeiden und die Leitungsführung ähnlich wie bei Rohrverlegung vornehmen.

Um grundsätzlich alle Stemmarbeiten zu vermeiden, werden die zur Impu-Verlegung erforderlichen Teile, wie Dosen usw., so flach ausgeführt, daß sie in der Putzschicht

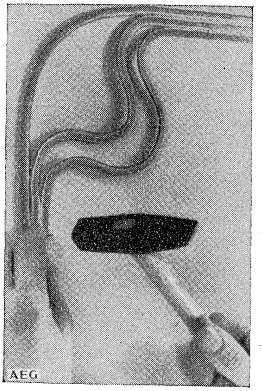


Bild 171.
Befestigung der Stegleitung.

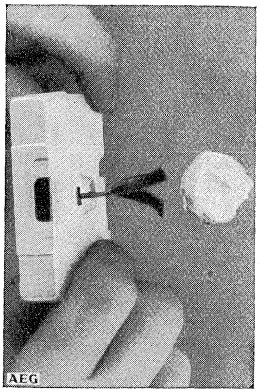


Bild 172.
Eingipsen des Wandgehäuses.

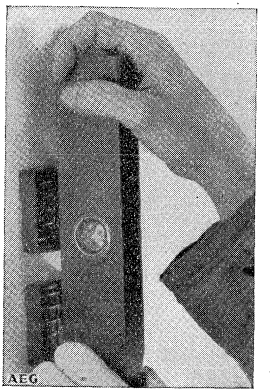


Bild 173.
Ausrichten des Wandgehäuses.

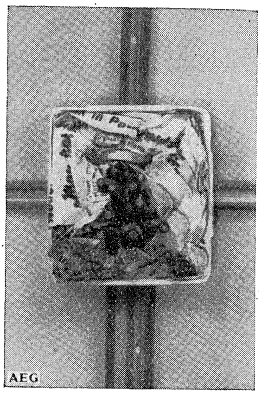


Bild 174. Das Wandgehäuse wird vor dem Verputzen mit Papierabfällen gefüllt.

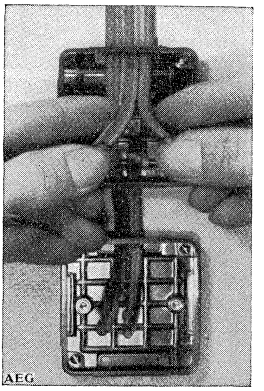


Bild 175. Auftrennen der Stegleitung in der Abzweigdose.

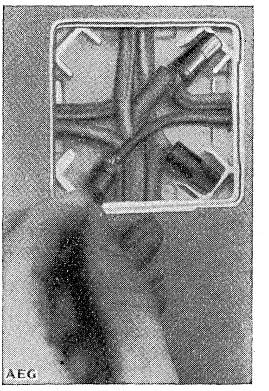


Bild 176.
Herstellung der Leitungsverbindungen mittels Klemmen.

Platz finden (siehe Seite 389). Das Eingipsen des Wandgehäuses zeigt Bild 172. Beim Einführen der Leitungen ist darauf zu achten, daß die freien Enden nicht zu kurz genommen werden, da ja ein Nachziehen der Leitung nach dem Verputzen nicht mehr möglich ist. Die quadratisch ausgeführten Gehäuse werden mit der Wasserwaage zum Fluchten gebracht (Bild 173) und nach dem Einlegen der freien Enden mit Altpapier gefüllt, um sie gegen Verschmutzen beim Verputz zu schützen (Bild 174). Das Auftrennen der Stegleitung in einer Abzweigdose zeigt Bild 175. Nach dem Verputzen werden die Leitungsenden durch entsprechende Klemmeneinsätze ordnungsmäßig

und sicher verbunden (Bild 176). Bild 177 läßt das Einsetzen und Anschließen eines Schalters sowie einer Steckvorrichtung, Bild 178 die fertigen Geräte nach Aufsetzen der Deckel erkennen.

Wichtig ist es, die Leitungsführung nachzuprüfen (die Leitung „abzuklingeln"), sowie den Isolationswert mit dem Kurbelisolationsmesser (siehe „Meßgeräte") zu messen, ehe eine Bekleidung der Wand durch eine Tapete oder dgl. vorgenommen wird, da hier eine nachträgliche Auswechslung der Leitungen wie bei der Verwendung von Rohren nicht möglich ist.

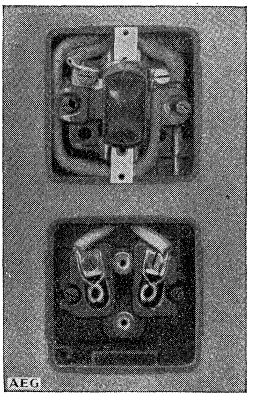


Bild 177. Einsetzen eines Schalters und einer Steckdose.

Die Impu-Verlegung kann auch in fertigen Räumen durch Einkratzen von Rillen im Putz angewendet werden. Das Hauptanwendungsgebiet der Impu-Stegleitung werden aber Neubauten von Siedlungshäusern sein, die einheitlich gebaut und mit elektrischen Anlagen versehen werden.

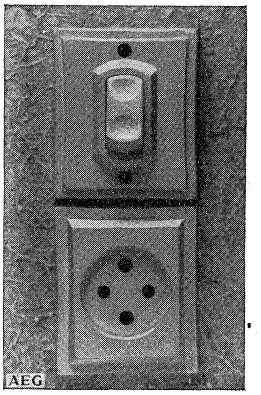


Bild 178. Schalter und Steckdose sind durch die Deckel abgeschlossen.

VII. Verlegung von Rohrdraht.

Rohrdraht ohne Umhüllung N R A.

Der Rohrdraht ist wegen seines geringen Durchmessers besonders zur Verwendung in fertigen Wohnräumen oder in solchen Räumen geeignet, in welchen eine Verlegung der Leitungen unter Putz nicht mehr möglich ist und die Isolierrohrverlegung zu sehr auffallen würde. Er gewährt außerdem den Vorteil, daß er in Längen (Ringen) bis zu 50 m Länge hergestellt wird, während Isolierrohr nur in etwa 3 m langen Stangen zu beziehen ist, so daß im allgemeinen nur da Schnittstellen zu machen sind, wo die Zwischenschaltung von Schaltern, Abzweigdosen usw. ohnehin notwendig ist.

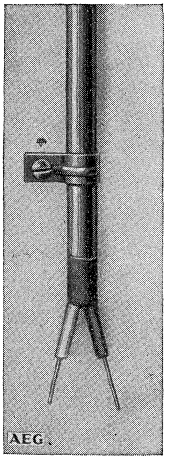


Bild 180. Zweiadriger Rohrdraht ohne Beidraht. NRA.

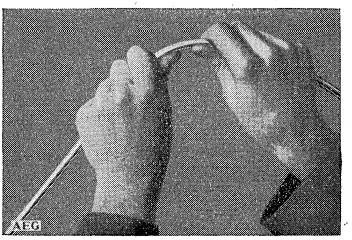


Bild 179.
Biegen des Rohrdrahtes von Hand.

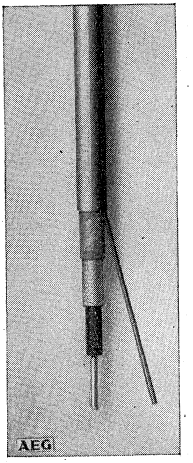


Bild 181. Einadriger Rohrdraht mit eingelegt. Null-Leiter. (Beidraht N R A N.)

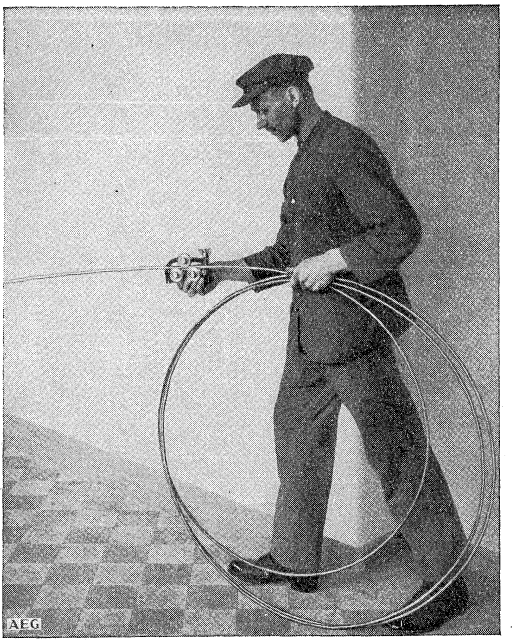


Bild 182. Richten des Rohrdrahtes mit dem Gerade richter. Beim Durchschieben muß der Falz stets an derselben Seite liegen.

Der Rohrdraht wird von der AEG mit einem gefalzten Metallmantel (nicht Eisenmantel) geliefert, der so schmiegsam ist, daß er ohne Zuhilfenahme einer Zange von Hand gebogen werden kann (Bild 179).

Er wird in zwei Ausführungen hergestellt, und zwar ohne Beidraht (NRA, Bild 180) und mit einem blanken Beidraht unter dem Metallmantel (NRAN, Bild 181), welcher zur Erdung, Nullung und Schutzschaltung benutzt werden kann. Den Mantel allein hierfür zu verwenden, ist durch den VDE verboten, da die leitende Verbindung des Mantels einzelner Rohrstücke Schwierigkeiten macht und zu Störungen Anlaß gibt. Der Beidraht ist in Durchgangs- und Abzweigdosen, wie die isolierten Leiter mittels Klemmen zu verbinden. Für Umschaltleitungen und dergleichen ist der Rohrdraht NRAN mit einer blanken und zwei isolierten Adern versehen, während alle Schalterleitungen nur mit isolierten Adern auszuführen sind. Da die Schalter stets im Außenleiter liegen müssen, also nicht im Nulleiter angebracht sein dürfen, braucht der Nulleiter gar nicht zum Schalter geführt zu werden, aber der Außenleiter muß als Hin- und Rückleitung zum Schalter gehen (Bild 180).

Die Abmessungen der Rohrdrähte sind nachstehender Tafel 24 zu entnehmen.

Tafel 24. Außendurchmesser der Rohrdrähte in mm.

Cu-Querschnitt mm²	Rohrdraht ohne Beidraht NRA				Rohrdraht mit Beidraht NRAN			
	Einleiter	Zweileiter	Dreileiter	Vierleiter	Einleiter	Zweileiter	Dreileiter	Vierleiter
1,5	—	9	9,5	10	5,8	9	9,5	10
2,5	—	10	10,5	11,5	7	10	10,5	11,5
4	—	11,5	12	13,5	7,3	11,6	12	13,5

Zwischen zwei Geräten oder Dosen wird der Rohrdraht ununterbrochen verlegt. Um Reste zu verarbeiten, und bei ungewöhnlich großen Längen kann man Durchgangsdosen verwenden, die lediglich beide Rohrdrahtenden miteinander verbinden. Rohrdraht wird im Gegensatz zu gewöhnlichem Leitungsdraht vor dem Verlegen auf Länge geschnitten, so daß das abgeschnittene Stück genau die zwischen zwei Anschlußstellen notwendige Länge hat. In fast allen Fällen sind dies Stücke bis zu etwa 6 m. Längere Enden kommen nur im waagerechten Verlauf, in Fluren oder rings um ein Zimmer usw. vor; hier kann man die genaue Länge durch Aufrollen am Fußboden leicht feststellen. Das Abschneiden geschieht mit dem Seitenschneider der Patentzange wie bei

gewöhnlichem Draht. Das Quetschen der Isolierung hat hier keine Bedeutung, da die Enden doch stets abisoliert werden. Das abgeschnittene Stück muß vor dem Verlegen geradegerichtet werden. Diese Arbeit erfordert eine gewisse Übung. Im allgemeinen hat es sich am besten bewährt, den Geraderichter nach dem Aufsetzen auf das Ende des Rohrdrahtes in der Hand zu halten und mit der anderen den Rohrdraht hindurchzuschieben (Bild 182). Hierbei muß der Falz stets genau die gleiche Lage haben und darf nicht verdreht werden, d. h. nicht in langen Schraubenlinien um den Rohrdraht herumlaufen. Wenn beim vorhergehenden Abwickeln das Verdrehen vermieden wird, macht das richtige Durchschieben des Rohrdrahtes keine besonderen Schwierigkeiten. Kann man in unmittelbarer Nähe des Arbeitsplatzes einen Tisch benutzen, so ist die Befestigung des Geraderichters an diesem bequemer, da man dann beide Hände für das Durchschieben frei hat. Auch am unteren Teil der Stehleiter läßt sich der Geraderichter befestigen.

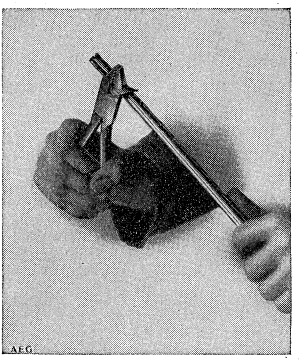


Bild 183. Das Abmanteln geschieht am einfachsten durch Abreißen des Falzes bis zu einem vorher hergestellten Einschnitt.

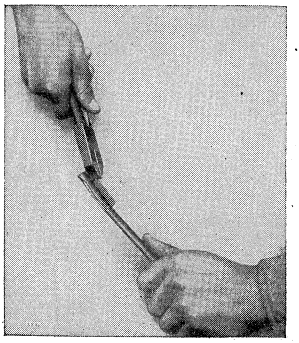


Bild 184. Nach dem Entfernen des Falzes wird das Mantelblech nach außen abgerissen.

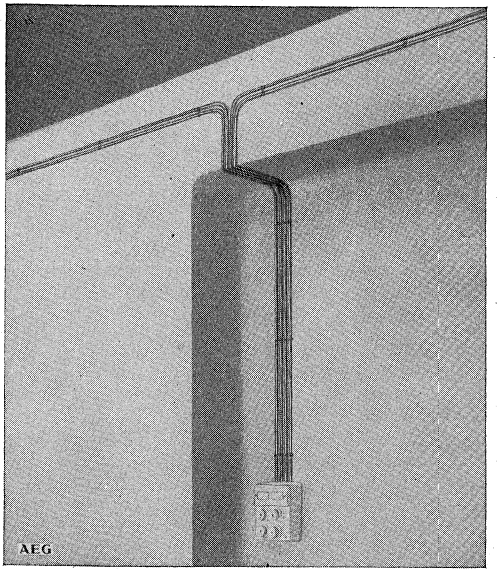


Bild 185. Fertige Rohrdrahtverlegung. Die senkrechte Leitung zeigt die Notwendigkeit von Winkelstücken.

Vor dem Verlegen des Rohrdrahtes wird mindestens ein Ende abisoliert, am besten in der Weise, daß an der Stelle, bis zu welcher der Mantel entfernt werden soll, der Falz mit dem Messer durchschnitten wird (Bild 183). Sodann wird mit dem Seitenschneider der Patentzange der Falz am Ende des Rohrdrahtes eingeschnitten und mit der Zange auf der ganzen Länge abgerissen. Mit der Zange wird das geschlitzte Mantelblech nach außen abgerissen, so daß an der Begrenzungslinie des verbleibenden Mantels das Blech etwas nach außen gebogen bleibt (Bild 184), damit die Blechkante niemals in die Isolation eingedrückt werden kann. Es wäre also auch falsch, den Mantel ringsherum durchzuschneiden oder zu feilen. Nach dem Entfernen des Mantels ist das Abisolieren ebenso leicht wie bei gewöhnlichem Draht.



Bild 186. Neben einer gespannten Schnur werden die Stahldübel eingetrieben.

Nur die Papiereinlagen, welche zur Ausfüllung im Metallmantel enthalten sind, werden etwas von der Mantelkante entfernt abgeschnitten. Dagegen soll die Gummiaderisolation noch ein möglichst langes Stück über den Mantel herausragen, damit kein „Schluß" durch letzteren vermittelt werden kann.

Ein Hauptvorzug des Rohrdrahtes ist, daß er sich allen Krümmungen der Leitungsführung genau anpassen läßt. Der Falz soll hierbei an der Innenseite des Bogens liegen (Bild 179, Seite 365). Man soll jedoch nicht allzu scharfe Bogen machen, damit der Draht nicht geknickt wird. Innere Ecken und räumliche Kanten, die also einen rechtwinkligen Knick voraussetzen würden, bedingen die Verwendung von Winkelstücken. Hier wird nur der Metallmantel mitten im Stück auf etwa 5 cm entfernt, so daß der volle Rohrdraht übrig bleibt. Dieser läßt sich dann rechtwinklig umlegen und in ein geteiltes Winkelstück aus Metall einlegen, das den entfernten Mantel ersetzt (Bild 185).

Rohrdraht darf nur auf dem Putz verlegt werden, und zwar so, daß er dem Auge möglichst entzogen wird. Man soll daher für die Verlegung stets vorhandene Linien der Raumausstattung wählen. Tapetenborten, gemalter Fries, Türverkleidungen und Zimmerecken sind für die versteckte Anbringung des Rohrdrahtes besonders geeignet. Hierbei sind solche Linien zu bevorzugen, die dem Licht abgewendet sind, die also im Schatten liegen, so daß der Rohrdraht möglichst nicht den Fenstern zugekehrt ist.

Die Befestigung erfolgt in der Weise, daß am Anfang und Ende der Bahn ein Stahldübel so weit neben der Linie des Rohrdrahtes eingetrieben wird, daß nach Anbringen der Rohrschellen der Rohrdraht genau an der beabsichtigten Stelle liegt. Zwischen diese beiden Dübel wird eine Schnur gespannt, die so lange dort bleibt, bis alle dazwischenliegenden Dübel an dieser Schnur entlang eingeschlagen sind (Bild 186). Das Vorzeichnen durch Schnurschlag, wie beim Verlegen des Isolierrohres, empfiehlt sich für Rohrdraht nicht, da die Zeichnung des Schnurschlages nachher durch die Leitung nicht verdeckt wird und auf den fertigen Wänden auch nicht mehr überstrichen wird.

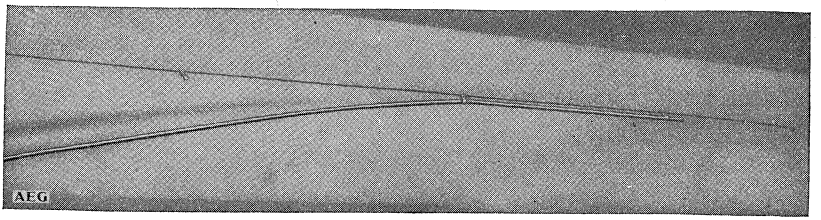


Bild 187. Nach dem Schlagen der Stahldübel wird der Rohrdraht in die Schellen gelegt und ausgerichtet.

Sind alle Dübel gesetzt und die Schellen lose aufgeschraubt, so befestigt man die vorher zugeschnittene, gerichtete und an einem Ende abisolierte Bahn des Rohrdrahtes in den ersten beiden Schellen lose und hängt ihn am anderen Ende ebenfalls ein. Dann werden die Rohrschellen nach und nach unter fortwährendem genauen Ausrichten des Rohrdrahtes nach der betreffenden Frieskante oder dergl. angezogen (Bild 187). Die Schellen sollen dichter sitzen als bei Isolierrohr; im allgemeinen wird man etwa alle 50 cm eine Schelle setzen. Etwa 5 cm von Mitte Abzweigdose oder Schalter entfernt, also etwa 3 cm vom Mantelende, sitzt die letzte Schelle (Bild 188).

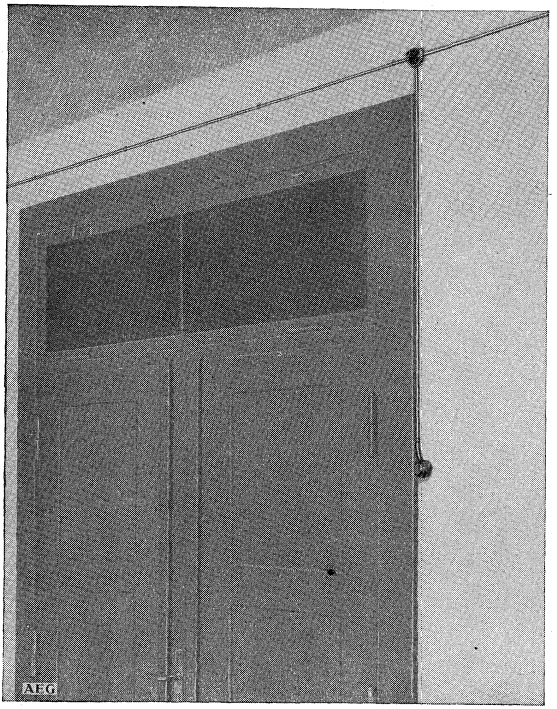


Bild 188. Schalterabzweig und senkrechte Schalterleitung an einer Türverkleidung.

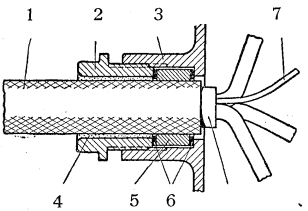
Die Abzweigdosen werden mit einer oder zwei Schrauben, die einfachen Durchgangsdosen gar nicht befestigt. Sie werden also im wesentlichen durch den Rohrdraht gehalten, dessen Mantel ja auch noch in diese eingeführt werden muß. Bei Schaltern, Steckvorrichtungen u. dgl. kann man das nicht immer durchführen, da man eine genügende Länge abisolierten Drahtes zur Verfügung haben und einen reichlichen Abstand zwischen blankem Draht und Blechkante des Mantels bekommen muß. Hier verwendet man Mantel-Endtüllen, die denjenigen für Isolierrohr entsprechen, aber kein Porzellan enthalten, also lediglich dem Metallmantel einen abgerundeten und genau passenden Abschluß geben sollen.

Rohrdraht mit Umhüllung NRU. (Kabelähnl. Leitung, Feuchtraumleitung).

Diese Art des Rohrdrahtes ist über dem Metallmantel mit einer gegen Feuchtigkeit und chemische Angriffe schützenden Umhüllung versehen. Der Raum zwischen den Gummiaderleitungen und dem Mantel ist mit Bitumen ausgefüllt. Die Rohrdrähte NRU werden nur mit einem Beidraht unter dem Mantel ausgeführt. Abmessungen siehe Tafel 25.

Tafel 25. Außendurchmesser der Rohrdrähte NRU. in mm.

Cu-Querschnitt mm²	Querschnitt des Beidrahtes mm²	Zweileiter	Dreileiter	Vierleiter
1,5	1,5	12,5	13	14
2,5	2,5	14	14,5	16,5
4	4	16	16	17
6	4	17	18	20



1 Umhüllung, 2 Schraubbuchse, 3 Dosengehäuse, 4 Knetbare Masse, 5 Gummiring, 6 Metallmantel, 7 Beidraht.

Bild 189. Abdichtung der NRU-Leitung im Stutzen.

Rohrdrähte NRU sind nur für Betriebsspannungen bis 300 V gegen Erde und nur für feste Verlegung zulässig. Verlegung unter Putz sowie im Erdboden ist nicht gestattet. Dagegen ist ihre feste Verlegung im Freien zulässig, ferner an Maschinen, die ständiger Wartung unterstehen, sowie die Aufhängung an Spanndrähten.

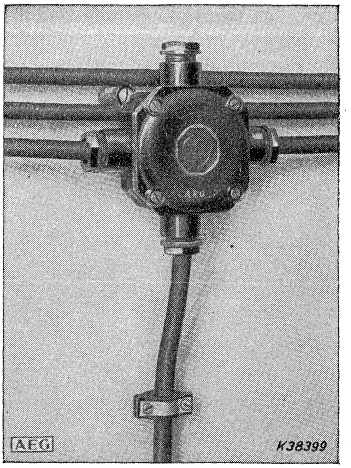


Bild 190.
Vierwegdose für Feuchtraumleitungen.

Die Feuchtraumleitungen kommen hauptsächlich zur Verwendung:

in feuchten, durchtränkten und ähnlichen Räumen,
in feuergefährdeten Räumen und Betriebsstätten,
in explosionsgefährdeten Betriebsstätten und Lagerräumen,
in schlagwettergefährdeten Grubenräumen.

Räume der genannten Art finden sich in vielen Industrien und Gewerben, z. B. in Brauereien, chemischen Betrieben, Färbereien, Gerbereien, Zucker- und Gummifabriken usw. Ferner sind hier zu nennen: Stallungen, Futter- und Milchküchen und ähnliche landwirtschaftliche Räume, Gärkeller, Pumpenräume, Kühlräume, Molkereien, Wäschereien, Kellereien, Großküchen u. dergl.

Damit die unter Verwendung der Feuchtraumleitung hergestellte Leitungsanlage ihren Zweck erfüllt, wird die Leitung in Abzweigdosen, Schaltern usw. mittels eines durch Gummistopfen abgedichteten Schraubverschlusses eingeführt, und zwar so, daß der Gummiring die äußere Umhüllung umschließt (Bild 189). Da die Anschlußgeräte abgedichtete Deckel besitzen, so sind auch die Anschlußstellen dem Angriff von Feuchtigkeit und chemisch wirksamen Dämpfen entzogen. Der Gummiring liegt zwischen zwei Metalldruckringen, so daß die Schraubbuchse kräftig

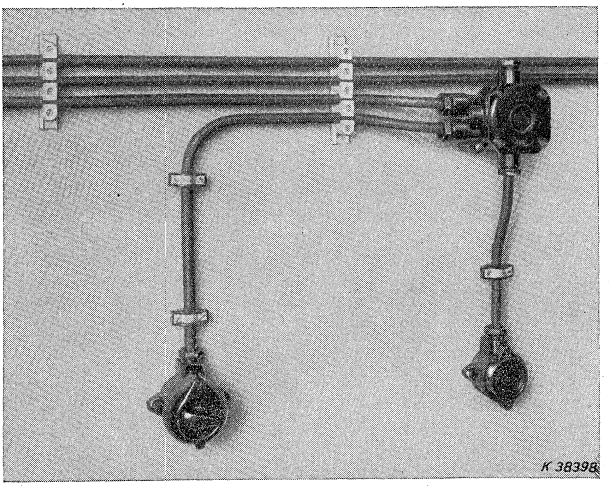


Bild 191. Feuchtraumdose mit Doppelstutzen.

angezogen werden kann. Der Hohlraum zwischen Leitung und Schraubbuchse ist mit einer knetbaren Masse (kein Glaserkitt) gut auszufüllen oder mit Leitungslack auszugießen.

Die Feuchtraum-Abzweigdosen werden aus Isolierpreßstoff in zwei Größen ausgeführt, und zwar Pg 16 mit 17 mm, Pg 21 mit 21 mm größtem Durchgang der Schraubbuchse. Bei ersterer können Gummi-Dichtungsringe von 10—16 mm, bei der größeren Dose solche von 9—20 mm lichter Weite verwendet werden. Die Dose Pg 16 wird als Einweg-, Durchgangs-, Zweiwegwinkel-, Drei- und Vierwegdose (Bild 190) geliefert. Ferner kann man z. B. bei der Einwegdose nachträglich eine Vermehrung der Auslässe durch anschraubbare mit Dichtung versehene Einfach- und Doppelstutzen vornehmen (Bild 191). Der Deckel hat eine Verschraubung, in die gerade und schräge Deckelstutzen zum Anschrauben von Leuchten oder zur Aufnahme von Gummischlauchpendeln eingeschraubt werden können. Auch wird eine Dose für das Anschrauben eines Bodenstutzens hergestellt, für den Fall, daß bei Mauerdurchbrüchen eine rückseitige Leitungseinführung erforderlich ist. Die größere Dose Pg 21 wird als Winkel-Drei- und Vierwegdose geliefert ohne die eben genannten Möglichkeiten für das Anbringen weiterer Stutzen. Die Dosen erhalten keramische Einsätze mit Kalottenklemmen. Die Erdungsklemme ist in der Mitte des Gehäusebodens angebracht. Für den nachträglichen Abschluß nicht benutzter Stutzen ist eine Blindscheibe aus Gummi vorzusehen.

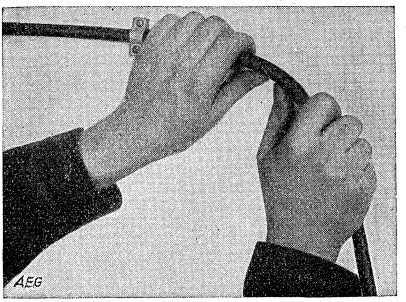


Bild 192.
Biegen der Feuchtraumleitung von Hand.

Außer den Abzweigdosen und Schaltern werden auch Motoren und andere Geräte wie Sterndreieckschalter, Schutzumspanner, Motorenschutz- und Druckknopfschalter usw. mit Stopfbuchsenverschraubungen für Feuchtraumleitungen versehen.

Bei der Verlegung der NRU-Leitung ist folgendes zu beachten:

Die in Ringen aufgerollte Leitung soll nicht zu warm aufbewahrt oder der Sonne ausgesetzt werden, damit die Umhüllung der einzelnen Lagen nicht zusammenklebt.

Beim Abwickeln der Leitung vom Ring sollen Knicke vermieden werden. Wo solche vorgekommen sind, ist die Leitung aufzuschneiden und eine Zwischendose einzusetzen.

Das Graderichten und Biegen geschieht von Hand. Als geringster Krümmungshaltmesser gilt etwa der sechsfache äußere Durchmesser der Leitung. Biegezangen dürfen nicht verwendet werden (Bild 192).

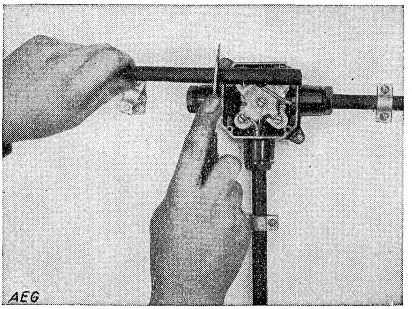


Bild 193. Zuschneiden der Feuchtraumleitung.

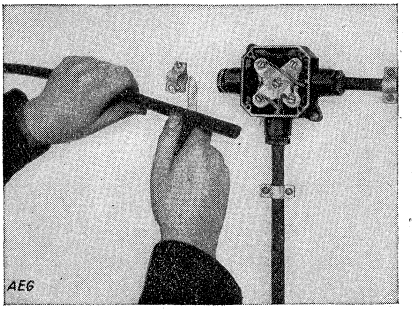


Bild 194. Einschneiden der äußeren Umhüllung.

Die Befestigung erfolgt durch Rohrschellen oder besser, namentlich in feuchten Räumen, durch Abstandschellen. Empfehlenswert sind Schellen mit Isolierstoffauskleidung (siehe Bild 190) oder ganz aus Isolierstoff hergestellt. Die Schellen sind so ausgeführt, daß eine Beschädigung der Leitungshülle vermieden wird.

Sind mehrere Leitungen nebeneinander zu verlegen, so ist die Verwendung von Niedax-Schellen zweckmäßig (siehe Bild 191). Sie bestehen aus einer Metallschiene und mehreren keramischen Klemmen, die in der Schiene verschoben werden können, die in verschiedener Länge geliefert wird. Wenn die Leitungen ausgerichtet sind, werden die Klemmenteile mit je einer Schraube an der Schiene befestigt.

Sollen unter einer Dose noch weitere Leitungen verlegt werden, so wird zwischen Dose und Wand ein Abstandschalter aus Hartgummi oder dgl. angebracht, der die Dose in richtigem Abstand hält (siehe Bild 190). Da die Leitung eine ausreichende Steifigkeit besitzt, kann in der Waagerechten ein Schellenabstand bis 50 cm, in der Senkrechten bis 60 cm gewählt werden. Bei Verlegung an Spanndrähten sollen kräftige Spanndrahtschellen und beim Übergang auf den Spanndraht ein Ausdehnungsbogen in der Leitung verwendet werden.

Die Einführung der Leitung in die Dose, den Schalter usw. muß aber sorgfältig ausgeführt werden. Der Gummiring muß mit seiner lichten Weite dem äußeren Durchmesser der umhüllten Leitung entsprechen, damit eine gute Abdichtung der mit der Umhüllung in die Dose eingeführten Leitung möglich ist.

Bereits beim Zuschneiden der Leitung ist darauf zu achten, daß für die Einführung in die Dose ein genügend langes Leitungsende zur Verfügung steht (Bild 193). Hierauf erfolgt das Einschneiden der Umhüllung (Bild 194).

Das Abmanteln des Metallmantels und das Freilegen der Adern erfolgt wie beim Rohrdraht (vgl. Seite 367).

Das Einführen in die Dose zeigt Bild 195, die fertige Dose Bild 196.

Sofort nach Fertigstellung der Einführung und der Verbindungen in der Dose ist der Deckel unter Verwendung des Gummidichtungsringes zu schließen. Die Schrauben sind gleichmäßig anzuziehen.

Bei den Abzweigdosen aus Isolierstoff sind nur die zu benutzenden Stutzen durch Ausbrechen der dünnen Zwischenwände zu öffnen. Dies gilt auch für Leuchten und Schalter. Zu viel geöffnete und nicht benutzte Stutzen, Verschraubungen und Gummiblinddichtungen sind zu verschließen.

Stets sind Dosen mit genügender Klemmenzahl zu verwenden; alle **Klemmen innerhalb der Dose** müssen auf gemeinsamer isolierender Unterlage angebracht sein. Die Leitungsführung in der Dose ist übersichtlich anzuordnen.

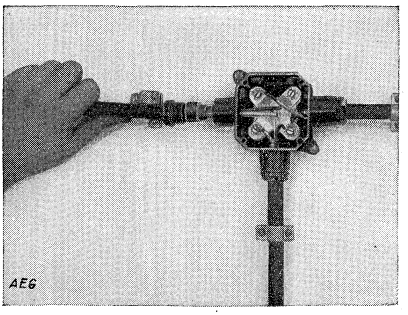


Bild 195.
Einführen der Leitung in die Dose.

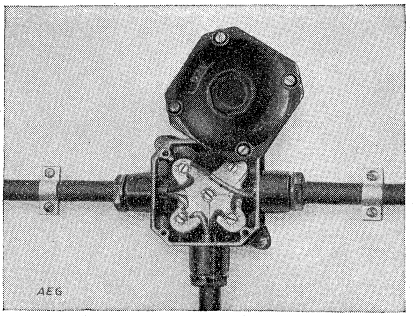


Bild 196.
Fertig angeschlossene Feuchtraumleitung.

Nach Beendigung der Verlegung sind alle zugänglichen Teile der Leitungsanlage, soweit sie nicht aus Isolierstoff bestehen, mit einem **Schutzanstrich** aus Sonderleitungslack zu überstreichen. Verdünnungsmittel für den Lack schreibt der Hersteller jeweils vor. Auch alle Schellen und Geräteteile aus Gußeisen sind mit dem gleichen Lack zu überstreichen.

Als Dosen, Schalter und Leuchten sind nur solche für Feuchtraumleitungen zu verwenden. Behelfsweise hergerichtete Zubehörteile, die ursprünglich für Stahlpanzerrohrverlegung oder dergleichen bestimmt sind, sind zulässig. Dosen mit Stutzen von 17 mm Einführungsöffnung sollen nur für Leitungen bis einschließlich 2,5 mm² Querschnitt verwendet werden. Für Leitungen mit größeren Querschnitten sind größere Dosen und Stutzen von mindestens 21 mm Öffnung zu benutzen.

In Stallungen sollen die Leitungen möglichst außer Handbereich verlegt werden. Holzdübel sind zur Befestigung der Leitungen zu vermeiden.

Wo die Leitung nicht in einer Dose, einem Schalter oder dergl. endet, muß sie in feuchten Räumen oder im Freien am Ende abgedichtet werden.

Im allgemeinen sind besondere **Wand- und Deckendurchführungen** bei der Verwendung von Feuchtraumleitungen nicht erforderlich. Die Leitungen können nach vorherigem Anstrich durch Sonderlack unmittelbar durch das Mauerwerk verlegt werden. Zweckmäßig ist es in allen Fällen, bei Mauerdurchführungen die Leitung mit Zement und nicht mit einem anderen Füll- oder Bindemittel zu umgeben, da Kalk und Gips den zerstörenden Einflüssen nicht genügend Widerstand entgegensetzen oder unter Umständen sogar selbst chemische Zerstörungen verursachen.

Bei Deckendurchführungen ist die Leitung über dem Fußboden bis auf etwa 40 cm Höhe durch Verkleidung (Rohr, Holz) gegen Beschädigungen zu schützen.

Der **Übergang auf andere isolierte Leitungen** soll an einer möglichst trockenen Stelle außerhalb des Raumes stattfinden, in dem die Feuchtraumleitungen verlegt sind. Die Leitung wird ordnungsgemäß abgemantelt und ohne besonderen Endverschluß in die Dose eingeführt. Zweckmäßig wird hierfür eine Dose für Feuchtraumleitungen verwendet, da es leichter ist, in diese Dose Isolierrohre einzuführen als umgekehrt in eine Trockenraumdose die Feuchtraumleitungen.

Der **Übergang auf Freileitung** soll im Freien erfolgen. An der Übergangsstelle sind Dosen, Übergangskästen oder dergl. vorzusehen, in die die Feuchtraumleitung eingeführt wird. Die Austrittsstelle der an die Freileitung führenden Einzelleitung ist gegen den Eintritt von Feuchtigkeit abzudichten.

Auf die Herstellung guter Kontakte bei Anschluß der Beidrähte muß besonders geachtet werden, weil durch Unterbrechung eines der beiden Kontakte sehr leicht Gefahren in die Anlage gebracht werden können. Es ist streng darauf zu achten, daß nur die in den Armaturteilen für die Verbindung der **Schutzleitung** besonders bestimmten und als solche kenntlich gemachten Klemmen benutzt werden.

Nach den Vorschriften des VDE müssen alle fest verlegten Leitungen, soweit sie unter Spannung gegen Erde stehen, im Handbereich eine besondere Verkleidung zum Schutze gegen mechanische Beschädigung erhalten. Bei Feuchtraumleitungen gilt im allgemeinen die Metallhülle als Schutzverkleidung. An besonders gefährdeten Stellen ist ein zusätzlicher Schutz vorzusehen. Als solche sind z. B. anzusehen: Deckendurchführungen, Futter- und Kellerluken, Durchfahrten, Lager- und Betriebsräume, in denen mit sperrigen Gegenständen und Werkzeugen umgegangen wird usw. Der zusätzliche Schutz kann z. B. bestehen in einem übergeschobenen Metallrohr oder einer gleichwertigen Verkleidung.

Bei der mechanischen Beanspruchung handelt es sich nicht nur um die Widerstandsfähigkeit der Metallmäntel, sondern eine Verletzung ihrer äußeren Umhüllung muß ebenfalls verhindert werden, da sonst der Schutzwert der Umhüllung gegen chemische Einwirkungen gefährdet wird.

Die Leitungen sind jährlich gründlich von Schmutz, Spinngeweben usw. zu säubern und, falls erforderlich, neu mit Sonderlack oder geeigneter Ölfarbe zu streichen.

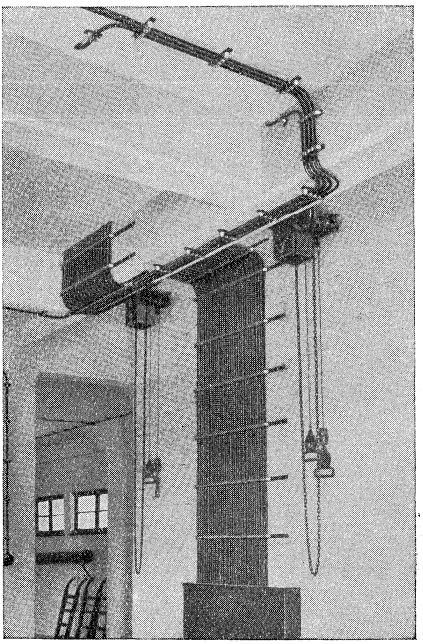


Bild 197.

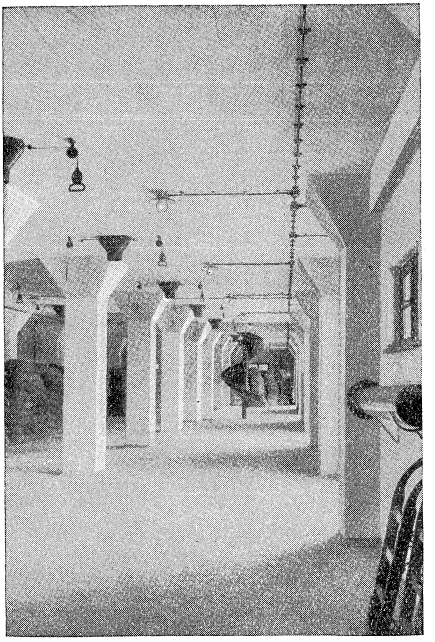


Bild 198.

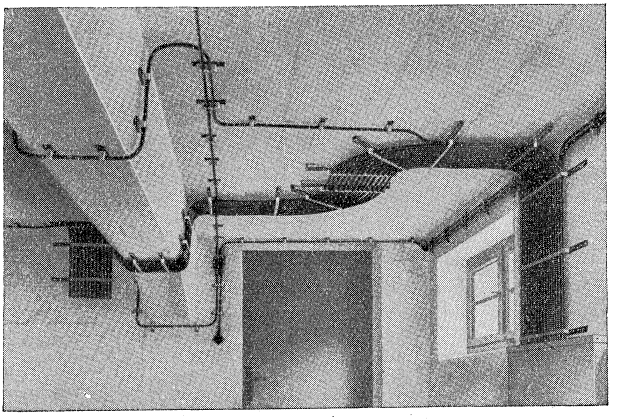


Bild 199.

Bild 197 . . . 199. Beispiele für die Verlegung von Feuchtraumleitungen.

VIII. Offene Verlegung von Leitungen.

Innerhalb von Gebäuden müssen alle Leitungen, die gegen Erde unter Spannung stehen, mit einer Isolierhülle versehen sein. Blanke spannungführende Leitungen dürfen nur Verwendung finden in Räumen, in denen die Isolierhülle durch chemische Einflüsse rascher Zerstörung ausgesetzt ist, ferner als Kontaktleitungen und dergleichen. Die Leitungen müssen dann aber vor Berührung hinreichend geschützt sein*).

Die Verlegung von isolierten Drähten auf Porzellanrollen, Porzellanklemmen und Porzellanglocken (Isolatoren) im Innern von Gebäuden findet heute nur noch in untergeordneten Räumen, Kellern, Lagerräumen und dergleichen Anwendung. Da diese Art der Leitungsverlegung die älteste und einfachste ist, ergeben sich fast alle Handhabungen bereits aus den vorhergehenden Abschnitten.

Im Handbereich ist stets eine besondere Verkleidung zum Schutz gegen mechanische Beschädigung erforderlich*).

Die Mindestabstände der offen verlegten Leitungen voneinander und von Gebäudeteilen sind nachstehender Tafel zu entnehmen.

Tafel 26. Mindestabstände von Leitungen.
(Nach den Errichtungsvorschriften des VDE.)

Art der Leitung	Mindestabstand voneinander	Mindestabstand von Gebäudeteilen
Ungeerdete blanke*) Leitungen unter 1 kV in Gebäuden und im Freien:		
bei Spannweiten von 6—20 m	20 cm	5 cm
bei Spannweiten von 4—6 m	15 cm	
bei Spannweiten von 2—4 m	10 cm	
bei Spannweiten unter 2 m	5 cm	
Blanke Leitungen für 1 kV und darüber in Gebäuden		
bei Spannungen von 1 kV	4 cm	4 cm
bei Spannungen bis 3 kV	7,5 cm	7,5 cm
bei Spannungen bis 6 kV	10 cm	10 cm
bei Spannungen bis 10 kV	12,5 cm	12,5 cm
bei Spannungen bis 20 kV	18 cm	18 cm
bei Spannungen bis 30 kV	26 cm	26 cm
bei Führung an der Außenseite eines Gebäudes	Wie vor	Wie vor, jedoch mindestens 10 cm
Isolierte offen verlegte Leitungen unter 1 kV:		
im Freien		2 cm
in Gebäuden		1 cm
Leitungen im Freien:	Mindestabstand von der Erde:	
bei Spannungen unter 1 kV	2,5 m, wo beladene Wagen verkehren 6 m	
Freileitungen:	Mindestabstand von der Erde:	
bei Spannungen unter 1 kV	5 m, über Wegen 6 m	
bei Spannungen von 1 kV und darüber	6 m, über Wegen 7 m	

*) Über kleinere Abstände, die bei Verbindungsleitungen zwischen Akkumulatoren, Maschinen und Schalttafeln zulässig sind, vgl. VDE 0100 § 21,3.

Die Verlegung dünner Drähte (bis etwa 6 mm) auf Klemmen, gewöhnlichen Porzellanrollen für trockene Räume, Mantelrollen und solchen mit großer Oberfläche (Kellerrollen) für feuchte Räume, ist in der Ausführung gleich. In allen diesen Fällen beginnt man mit dem Vorzeichnen für die Befestigungsstellen wie sonst durch Schnurschlag. Der Abstand der Befestigungsstellen darf höchstens 80 cm, bei Decken zweckmäßig nicht über 2 m betragen. Dann folgt das Eingipsen der Dübel, die bei Klemmen meist Spiraldübel sind. Die Rollen sitzen zu zwei und drei auf fertigen Eisendübeln, werden aber auch in größerer Zahl auf Flacheisenleisten (Bild 200) verwendet, so daß auf etwa 4 bis 6 Rollen nur zwei Mauerbefestigungen kommen.

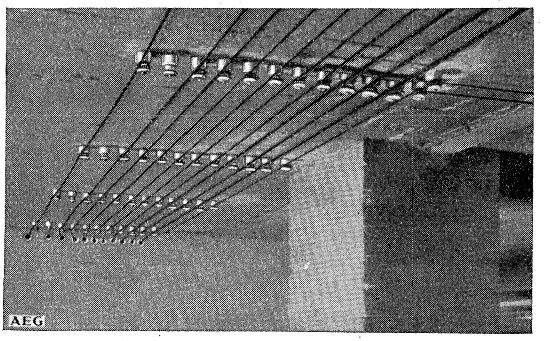


Bild 200.
Offene Verlegung dünner Drähte auf Porzellanrollen.

Die Drähte werden sodann in möglichst großen Längen aufgebracht, an einem Ende durch Abbinden endgültig befestigt und lose über alle folgenden Befestigungspunkte hinweggeführt. Das Straffspannen des Drahtes erfolgt nun durch Zug am anderen Ende. Auch bei dünnen Drähten geschieht das meist in derselben Weise, wie es für stärkere weiter unten beschrieben wird. Man braucht jedoch dem Spannen hier nicht die gleiche Bedeutung beizumessen, weil bei dem Abbinden der dünnen Drähte an jeder einzelnen Rolle durch das Einziehen des Drahtes um die Wölbung der Rolle ein weiteres Straffziehen bewirkt wird. Auch bei den Klemmen empfiehlt sich die Verwendung der selbstspannenden Form, die ebenso wirkt. Das Abbinden an Rollen erfolgt am besten nur mit isoliertem Bindedraht; dabei spart man die sonst notwendige Umwicklung mit Isolierband und hat die Gewähr, daß die Gummiisolation nicht beschädigt („durchgebunden") wird.

Die Verlegung stärkerer Drähte auf Rollen hat vor allem dort Bedeutung, wo die Leitungsführung im Rohr durch die Unebenheit der Deckenbauart, wie z. B. in trockenen Lager- oder Fabrikräumen, schwierig würde. Handelt es sich nur um eine

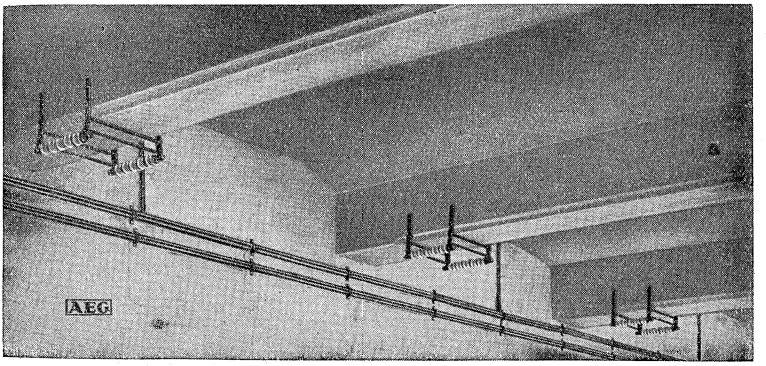


Bild 201. Rollenträger für eine Leitungsverlegung quer zu den Deckenbetonbalken.

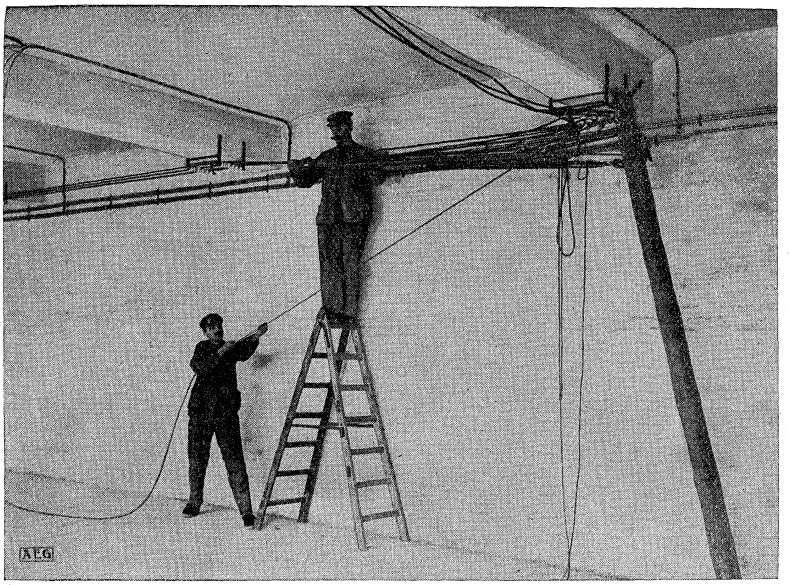


Bild 202. Die lose über die Rollen gelegten Drähte werden durch Flaschenzüge gespannt, welche an einem provisorischen Stützpunkt befestigt sind.

Hauptleitung aus 2 bis 3 Drähten, so nimmt man Eisendübel wie bei schwächeren Leitungen. Kommen aber mehr Drähte in Frage, so ordnet man besser auf Rundeisen aufgereihte Rollen an, die je nach der Bauart der Decke sehr verschieden gestaltet werden müssen. Als Beispiel sei die Befestigung an Betonbalken dargestellt, wie sie sich in modernen Bauten öfter finden. Die Rollenträger umfassen die Betonbalken, die Enden der Flacheisen sind umgebogen und etwa 2 cm tief in den Beton eingestemmt. Das ist aber auch die einzige Stemmarbeit. Im übrigen ist der Rollenträger durch Zugstangen angeklemmt. Die Ausführung ist verschieden, je nachdem ob die Leitung längs oder quer zum Balken (Bild 201) verläuft.

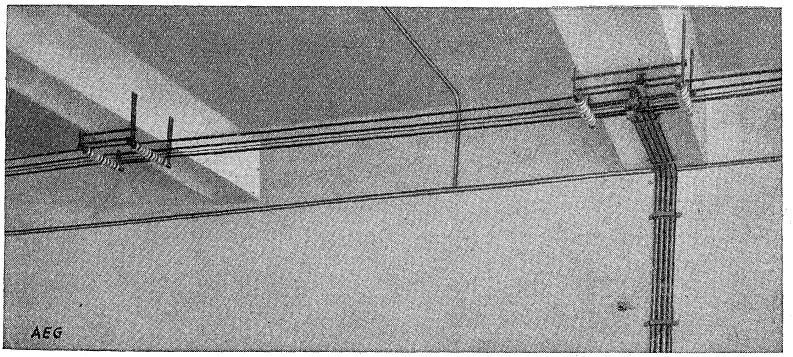


Bild 203. Die fertig gespannten und gebundenen Leitungen. Abzweig in Rohrverlegung.

Nachdem die Drähte an einem Ende befestigt und lose aufgebracht sind, müssen sie gespannt werden. Zu diesem Zwecke schafft man sich einen Befestigungspunkt für die Flaschenzüge, etwa durch loses Gegenlehnen eines Rüstholzes gegen den Deckenbalken. Die Drähte werden mit Froschklemmen gefaßt und durch den Flaschenzug so gespannt, daß ihre dauernd straffe Lage gesichert ist. Durch Verknoten des Zugseiles mit den Seilbahnen des gespannten Flaschenzuges wird die Spannung aufrechterhalten (Bild 202). So können erst alle Drähte gespannt werden, und dann geht man an das Abbinden der Drähte an allen Befestigungspunkten. Erst nachdem so alle Bindestellen fertig sind (Bild 203), lockert man den Flaschenzug, so daß sich der Zug auf alle Rollen verteilt.

IX. Leitungen für beweglichen Anschluß.

Für geringe mechanische Beanspruchung in trockenen Wohnräumen werden feindrähtige Gummiaderschnüre NSA verwendet, bei denen die gummiisolierten Leiter eine Garnumflechtung besitzen. Die Gummischlauchleitungen unterscheiden sich dadurch, daß die verseilten Gummiadern mit Gummi so umpreßt werden, daß alle Hohlräume ausgefüllt sind. Sie werden in drei Arten ausgeführt: für geringe mechanische Beanspruchung als NLH oder NLG (mit Beflechtung über dem Gummimantel, für mittlere Beanspruchung (für Küchen- und kleinere Werkstattgeräte) als NMH oder für hohe mechanische Beanspruchung (schwere Werkzeuge, fahrbare Motoren, landwirtschaftliche Geräte usw.) als NSH. Letztere Ausführung besitzt einen doppelten Gummimantel.

Tafel 27. Bewegliche Leitungen.

Querschnitt mm²	Gummiaderschnüre Außendurchmesser etwa mm			Gummischlauchleitungen Außendurchmesser etwa mm								
	Runde Zweifachschnüre	Flache Zweifachschnüre	Runde Dreifachschnüre	NLH (NLG)			NMH			NSH		
				Zweileiter	Dreileiter	Vierleiter	Zweileiter	Dreileiter	Vierleiter	Zweileiter	Dreileiter	Vierleiter
0,75	6,4	—	6,8	6,2 (5,8)	6,6	7,2	7,5	8	9	—	—	—
1	6,8	3,7 × 6,8	7,2	—	—	—	8,5	9	9,5	—	—	—
1,5	7,3	4 × 7,3	7,7	—	—	—	9,5	10	11	13,5	14,5	15,5
2,5	8,7	—	—	—	—	—	12	12,5	13,5	16	17	18
4	9,8	—	—	—	—	—	—	—	—	17,5	18	19,5
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	21	22
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	25	27
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	28	30
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31	33	36
35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	37	40
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41	43	47
70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44	47	51

Die für den Anschluß beweglicher Motoren und Geräte mittels dieser Leitungen erforderlichen Steckvorrichtungen sind auf den Seiten 384 und fl. beschrieben. Die Verbindung von Leitung und Stecker erfolgt unter Vorkehrungen für eine Zugentlastung durch Verschraubung der Leiter mit der Kontaktvorrichtung. Eine grundsätzlich neue Art der Verbindung von Leitung und Kontaktgerät stellt die **Flexoleitung** (DRP. 465 416) dar, bei der Gummischlauchleitung und der Stecker eine Einheit in gemeinsamer, fest anschließender Gummihülle bilden (Bild 205). Damit ist allen

durch Wackelkontakte, Lösen der Leitungsenden auftretenden Kurzschlüssen vorgebeugt. Die Steckerstifte sind in einen besonderen Isolierkörper eingepreßt und haben keine sich lockernden oder verlierbaren Teile. Der Flexo-Stecker ist unzerbrechlich, da er aus Weichgummi besteht. Die Leitungsanschlüsse liegen geschützt im Gummimantel, der an der mechanisch beanspruchten Übergangsstelle kegelförmig verstärkt ist.

Die Flexoleitung wird als einfache Anschlußleitung mit Stecker, als Kupplungsleitung (Bild 205), Heizgeräte-Anschlußleitung (Bild 206), sowie Plätteisenschnur und

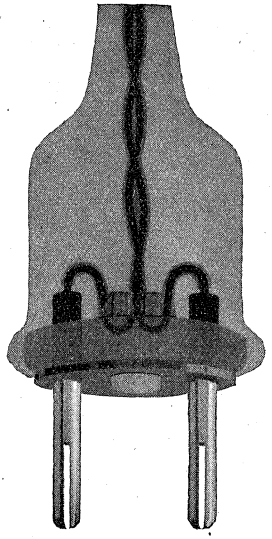


Bild 204. Flexo-Stecker, Gummihülle durchsichtig dargestellt.

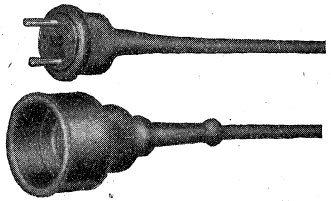


Bild 205. Flexoleitung mit Kupplungsdose und Stecker.

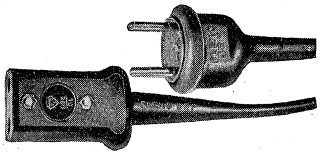


Bild 206. Flexoanschlußleitung für Heizgeräte.

auch mit Schutzkontakten (Schuko) in abgepaßten Längen von 2 m an geliefert, und zwar für die Querschnitte

$$2\times0{,}75,\ 2\times1,\ 2\times1{,}5,\ 2\times2{,}5,\ 3\times0{,}75,\ 3\times1,\ 3\times1{,}5\ \text{mm}^2.$$

Für Laboratorien und Prüffelder werden einadrige Flexoleitungen mit Kabelschuhen und Stiften sowie vieladrige Ausführungen hergestellt.

SCHALT-
UND ANSCHLUSSGERÄTE

Schalter, Steckdosen, Sicherungen.

Allgemeines.

Schalter und Steckvorrichtungen nach den Vorschriften des VDE für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial (K.P.I./1928) gewährleisten wesentliche Ersparnisse durch Vereinfachung des Einbaues, der Lagerhaltung und in der Instandsetzung. Die Befestigungslöcher in den Sockeln der Schalter und Steckdosen haben einen gleichen Abstand von 38 mm und sind für die gleiche Art und Stärke der Befestigungsschrauben vorgesehen.

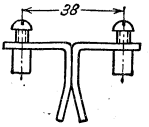


Bild 1. Eisendübel.

Diese einheitlichen Abmessungen der Sockel aller Apparate gestatten die wahlweise Verwendung
für Aufbau auf Putz durch Überstülpen einer Kappe,
für Einbau unter Putz durch Verwendung von Einhängebügeln oder Spreizklemmen und entsprechenden Abdeckplatten.
Vgl. hierin den Abschnitt „Verlegung der Leitungen" S. 346 usf.

Auch die Anschlußklemmen sind einheitlich ausgebildet. Sie gestatten eine geradlinige Einführung der abisolierten Leiterenden, das Biegen von Ösen ist also ver-

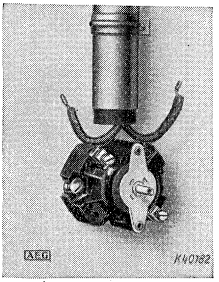


Bild 2. Sockel des Schalters auf der Wand montiert.

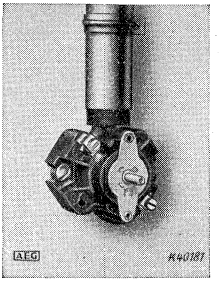


Bild 3. Sockel des Schalters mit vorderseitig angeschlossenen Leitungen.

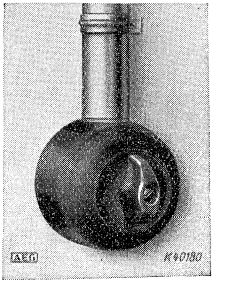
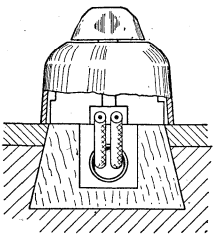


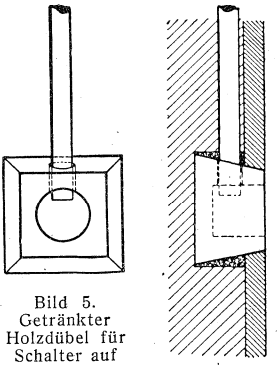
Bild 4. Schalter auf der Wand fertig montiert.

mieden. Alle Schrauben für die Sockel-, Leitungs- und Knebelbefestigung liegen mit ihrer Achse rechtwinklig zur Wandfläche, so daß eine schnelle und bequeme Anbringung möglich ist.

Schalter.

Bei der Verlegung der Leitungen auf dem Putz erfolgt der Anbau der Schalter, nachdem Rohr und Draht fertig an der Wand verlegt sind. Zunächst wird der Sockel des Schalters befestigt (Bild 2). Man verwendet hierzu entweder Spiraldübel, deren Schrauben nach dem Eingipsen herausgedreht werden, oder Holzdübel oder einen Eisendübel mit zwei Schrauben im Normalabstand, der den Aufbau wesentlich erleichtert (Bild 1). Nun werden die Leiterenden abisoliert (Bild 2), vorderseitig in den Anschlußklemmen befestigt (Bild 3) und schließlich die übergreifende Kappe aufgesetzt, die den Sockel


Bild 6. Durchführen der Drähte unter dem Hohlsockel.


Bild 5. Getränkter Holzdübel für Schalter auf Putz bei Verlegung des Rohres unter Putz.

mit seinen spannungführenden Teilen der Berührung entzieht (Bild 4). Da auch das Ende des Rohres überdeckt sein muß, ist die an sich vollkommen geschlossene Kappe zuvor mit einer entsprechenden Aussparung zu versehen. Die Kappe hat zu diesem Zweck Vorpressungen für drei verschiedene Rohrgrößen bzw. für Rohrdraht, die bei dem hochwertigen Isoliermaterial sich gut ausbrechen lassen.

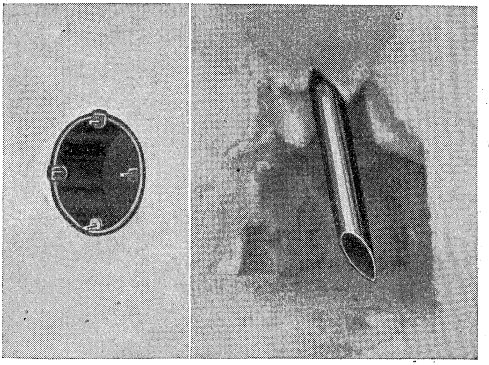


Bild 7. Schaltergehäuse fertig eingesetzt, und die Aussparung vor dem Einsetzen des Gehäuses.

Liegen die Leitungen unter Putz, während die Schalter auf dem Putz sitzen sollen, so muß man die Rohre schon bei der Verlegung in entsprechenden Holzdübeln endigen lassen. Beim Einlegen der Rohre werden in Asphalt getränkte Holzdübel eingesetzt, deren vordere Fläche mit dem Putz (nicht mit dem rohen Mauerwerk) bündig liegen muß (Bild 5). Auf den Dübeln kann dann der Aufbau der Schalter erfolgen wie bei der Verlegung der Rohre auf dem Putz, jedoch ist ein Ausbrechen der Schalterkappen nicht erforderlich. Alle Schalter werden mit Hohlsockel ausgeführt, so daß die Drähte unter dem Sockel auf die Vorderseite des Schalters durchgeführt werden können (Bild 6).

Sollen nicht nur die Leitungen, sondern auch die Schalter unter Putz liegen, d. h. in die Wand so eingelassen sein, daß nur der Betätigungsgriff über die Wandfläche vorsteht, so müssen statt der Holzdübel besondere Schaltergehäuse eingesetzt werden. Bei der Verlegung des Rohres wird die für die Schalter ausgestemmte Höhlung zunächst offengelassen, bis geputzt ist (Bild 7). Das Gehäuse wird dann so eingesetzt, daß die Vorderkante mit der Wand genau abschneidet.

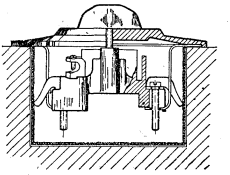


Bild 8. Schalter unter Putz mit Spreizklemmen.

Je nach der Befestigungsart der zur Verwendung kommenden Schalter sind die Wandgehäuse verschieden. Für Schalter mit Einhängebügel für Schraubbefestigung sind unausgekleidete Wandgehäuse aus Stahlblech oder Isolierstoff erforderlich. Die Gehäuse haben zum Einführen der Rohre meist einige vorgestanzte oder leicht ausbrechbare Öffnungen, vorteilhaft sind aber auch solche mit passenden Rohrstutzen. Um die Gewindelöcher in den Gehäusen nicht durch Mörtel verunreinigen zu lassen, werden sie durch kleine Holzpflöckchen (Streichhölzer) verschlossen (Bild 7), die beim

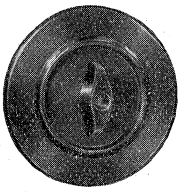


Bild 9. Isolierstoffabdeckplatte mit flachem Rand.

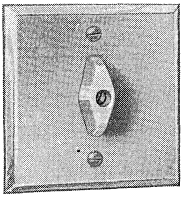


Bild 9a. Glasabdeckplatte mit weißem Knebel.

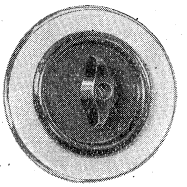


Bild 9b. Glasabdeckplatte mit Isolierstoff-Einsatz.

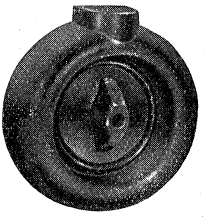


Bild 9c. Isolierstoffabdeckplatte mit Wulstrand.

Einbau der Schalter entfernt werden. Dieser kann nach vollkommener Fertigstellung der Wände, also nach Erledigung der Tapezierer- und Malerarbeiten, erfolgen, da alle Befestigungsvorrichtungen fertig eingesetzt sind.

Die Befestigung der Schalter in den Gehäusen erfolgt mittels eines Einhängebügels an den hierfür vorgesehenen Befestigungswinkeln. Damit auch bei zu tief eingemauertem Gehäuse der Schalter einwandfrei eingebaut werden kann, ist der Einhängebügel mit einem Höhenausgleich für den Schaltersockel versehen.

Für den Einbau von Schaltern mit Spreizbefestigung werden als Wandgehäuse Dosen aus getränktem Papier mit verbleitem Eisenmantel verwendet. Die zur Betätigung der Spreizklemmen dienenden Schrauben sind nach Abnahme der Abdeckplatte von außen leicht zu bedienen. Hierdurch werden die beweglichen Spreizklemmen nach außen gespreizt und krallen sich in der weichen Papiereinlage der Dose fest (Bild 8). Dabei wird der Schalter in die Dose hineingezogen und der Haltering bündig auf die Außenputzfläche gedrückt. Der Vorteil liegt in dem erzielten Ausgleich bei zu tief oder schief eingesetzten Wanddosen. Bei richtigem Einbau wird auch bei dieser Befestigungsart ein fester Sitz des Schalters erzielt.



Bild 10. Kippschalter auf Putz.

Als Abdeckung für unter Putz eingebaute Schalter sind die runde und die viereckige Isolierstoff-Abdeckplatte mit flachem Rand am gebräuchlichsten (Bild 9), aber auch eine solche mit hohem Rand ist üblich, die den Knebel versenkt erscheinen läßt. Die Glasabdeckplatten werden ebenfalls in runder und in viereckiger Ausführung verwendet, der Knebel besteht hierbei aus weißem Isolierstoff (Bild 9a). Beide Ausführungen sind auch mit rundem Isolierstoffeinsatz lieferbar (Bild 9b).

Ist die Leitung (Rohrdraht oder in Isolierrohr) auf Putz verlegt, während die Geräte des besseren mechanischen Schutzes wegen in die Wand eingelassen werden sollen, so finden besondere Isolierstoff-Abdeckplatten Verwendung. Diese haben für Einführung von Isolierrohr am Wulstrand einen Stutzen mit entsprechenden Ausbrechöffnungen (Bild 9c); für Einführung von Rohrdraht sind letztere in dem Wulstrand selbst vorgesehen.

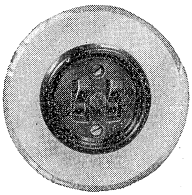


Bild 11. Kippschalter (Serienschalter) unter Putz, mit Glasabdeckplatte und Isolierstoff-Einsatz.

Die Kippschalter werden in den gleichen Ausführungen wie die Drehschalter hergestellt und in derselben Weise befestigt. Die Schalter haben gewöhnlich einen Betätigungshebel (Bild 10), lediglich der Serienschalter ist mit zwei Hebeln versehen, so daß jede Serie unabhängig von der anderen ein- und ausgeschaltet werden kann (Bild 11). Man braucht also nicht wie bei dem Drehschalter erst eine Raststellung durchzuschalten, bevor man die gewünschte Stellung erreicht hat.

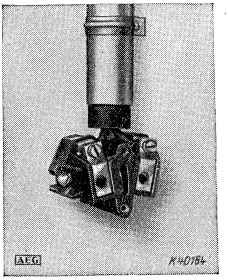


Bild 12. Steckdose mit federnden Buchsen, Leitungen angeschlossen.

Steckdosen.

Für das Gebiet der Steckdosen gilt alles das bei den Schaltern Gesagte, soweit es sich auf die Ausführung der einheitlichen Sockel, der übergreifenden Kappe, der Leitungsanschlüsse, Befestigung auf und unter Putz usw. bezieht.

Im allgemeinen werden nur noch Steckdosen für mindestens 10 A verwendet, um die Möglichkeit zu haben, größere Stromverbraucher anzuschließen. Diese Dosen haben entsprechend den K.P.I./1928 des VDE als Hauptmerkmal federnde Buchsen (Bild 12). Die Federung ist so weitgehend, daß neben den neueren Steckern für 10 A mit massiven 5-mm-Stiften auch die vorhandenen Stecker für 6 A mit geschlitzten 4-mm-

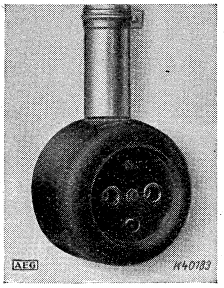


Bild 13. Steckdose, fertig aufgebaut.

Stiften gleich guten Kontakt finden. Die letztere Möglichkeit ist insofern wichtig, als dadurch bereits in Gebrauch befindliche Geräte auch ohne Auswechseln der älteren 6-A-Stecker gegen solche für 10 A in den neuen 10-A-Steckdosen verwendet werden können. Die übergreifende Isolierstoffkappe verhindert die Berührung spannungführender Teile der Dose (Bild 13). Steckdosen mit Sicherungen sollen nicht mehr verwendet werden.

Im Sinne des in den K.P.I./1928 geforderten Berührungsschutzes sind die Buchsenkontakte der Steckdosen tief hinter der aus bestem Isolierstoff bestehenden Kappe angeordnet und letztere mit einem Schutzkragen versehen. Dadurch ist beim Einführen des Steckers, der eine kreisrunde Deckfläche haben muß, eine Berührung der Steckerstifte, wenn sie bereits spannungführend sind, mit dem Finger nicht mehr möglich (Bild 14). Ebenso kann der Stecker nicht einseitig mit nur einem Stift in die Dose eingeführt werden (Bild 15).

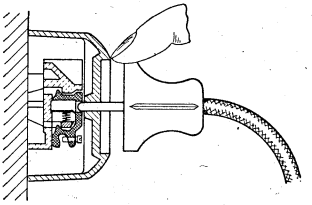


Bild 14. Die Berührung spannungführender Steckerstifte ist verhindert.

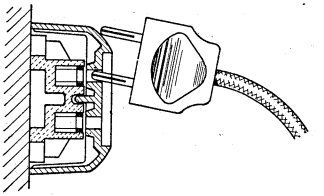


Bild 15. Das Einführen des Steckers mit nur einem Stift ist nicht möglich.

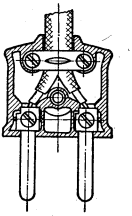


Bild 16. Stecker fertig angeschlossen.

Die Stecker sind zweiteilig und bestehen aus hochwertigem Isolierstoff. Beim Anschließen an das Leitungsende wird zunächst die Gummiummantelung der beweglichen Leitung mit dem Messer gespalten und dann mit der Hand auf die richtige Länge weiter aufgerissen. Wesentlich bei dem Anschluß an den Stecker ist dann, daß die beiden Hälften des Gummimantels nicht abgeschnitten, sondern über die beiden Leiter gelegt werden. Die Forderungen nach Zugentlastung der Leitungsanschlüsse, nach Schutz gegen Verdrehen der Leitungsadern und Abstreifen der Leitungsumhüllung werden dann beim Zusammenschrauben des Steckers von selbst erfüllt. Bild 16 zeigt einen fertig angeschlossenen Stecker im Schnitt, Bild 17 einen Stecker in anderer Ausführung, die beide sowohl mit geschlitzten 4-mm-Stiften, als auch mit massiven 5-mm-Stiften hergestellt werden.

Zur Abzweigung zweier Stromverbraucher von einer Steckdose sollen die bisher gebräuchlichen Doppelstecker nicht mehr verwendet werden, da bei ihnen die Be-

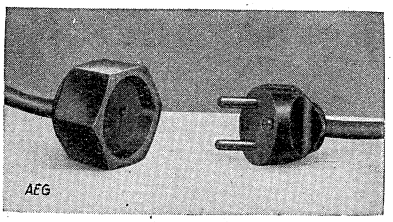


Bild 17. Kupplungssteckdose und Stecker mit 5-mm-Stiften.

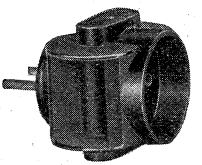


Bild 18. Dreifach-Abzweigstecker.

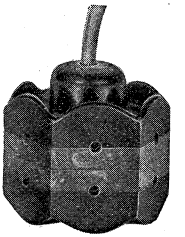


Bild 19. Sechsfach-Kupplung.

rührung der spannungführenden Stifte möglich ist. Statt dessen ist der Dreifach-Abzweigstecker zu empfehlen, bei dem die in den K.P.I./1928 für Stecker gestellten Forderungen vollkommen erfüllt sind (Bild 18). Für den Anschluß mehrerer Stromverbraucher dient die Sechsfach-Kupplung, jedoch darf der Gesamtstrom die 10-A-Grenze nicht überschreiten (Bild 19).

Auch die Anschlußstöpsel zum Einschrauben in Fassungen sind unvorschriftsmäßig, da die Drähte in den Beleuchtungskörpern für den hohen Stromverbrauch der angeschlossenen Geräte nicht bemessen sind. Man soll besondere Hängesteckdosen vorsehen, die in vorschriftsmäßiger Ausführung geliefert werden (Bild 20). Sie werden in gleicher Weise wie die Stecker angeschlossen. Hängesteckdosen in Verbindung mit Mehrfachkupplungen ermöglichen eine bequeme Anwendung beweglicher Stromverbraucher. Sie sind auch als Kupplungssteckdosen verwendbar, um die Anschlußleitung eines beweglichen Stromverbrauchers zu verlängern (Bild 17).

Steckvorrichtungen mit Schutzkontakt.

Die Errichtungsvorschriften V.E.S. 1/1930 verlangen in Fällen, in denen die Möglichkeit einer besonderen Gefährdung durch zu hohe Berührungsspannung vorliegt, also in feuchten und ähnlichen Räumen, die Anwendung von Schutzmaßnahmen. Als solche kommen in Betracht: Isolierung, Kleinspannung, Erdung, Nullung und Schutzschaltung. (Ausführliche Darstellung siehe S. 415.) Die beiden ersten Möglichkeiten sind grundsätzlich voneinander verschieden. Sie kommen hier nicht in Betracht. Die drei übrigen Arten ähneln sich insofern, als sie alle beim Auftreten eines Isolationsfehlers, also zu hoher Berührungsspannung, eine selbsttätige Abschaltung der Fehlerstelle von der Stromquelle bewirken. Dieses wird bei der Erdung und Nullung mit dem Fehlerstrom selbst durch Abschmelzen der Stromsicherung in der Zuleitung erreicht. Bei der Schutzschaltung betätigt der Fehlerstrom das Relais eines Selbstschalters, der dann den Stromkreis unterbricht. Bei allen drei Schutzmaßnahmen ist zur Führung dieses Fehlerstromes in der beweglichen Leitung eine besondere, an der Stromzuführung nicht beteiligte Leitung (Schutzleitung) erforderlich, an die das metallene Gehäuse des zu schützenden ortsveränderlichen Stromverbrauchers anzuschließen ist. Als Verbindung der festverlegten Zuleitung mit der beweglichen Anschlußleitung verwendet man Steckvorrichtungen mit Schutzkontakt (Schukosteckvorrichtungen).

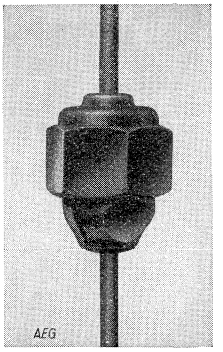


Bild 20.
Hängesteckdose mit eingeführtem Stecker.

In der Regel werden diese in gewerblichen Räumen, in Waschküchen und dgl. erforderlich sein, in denen schon mit Rücksicht auf die rauhe Behandlung gewöhnlich gußeisengekapselte Kragensteckvorrichtungen oder Schukosteckdosen in Isolierstoffgehäuse gekapselt, mit oder ohne Klappdeckel, Verwendung finden. Aber auch in einigen Wohnräumen (Baderäume, Räume mit feuchtem und gutleitendem Boden usw.) kann unter Umständen der Schutzkontakt notwendig werden. Hierfür kommen besondere Wohnungssteckdosen und Stecker 10 A in Betracht, die für Verwendung auf Putz und unter Putz mit runder oder viereckiger Abdeckplatte geliefert werden (Bild 21). Der Schutzkontakt, bei der Steckdose als straff federnder Gleitkontakt ausgebildet, ist seitlich in dem erhöhten Kragen der Abdeckung untergebracht und bei dem Stecker als seitlicher versenkter Metallbelag angeordnet. Die Schutzkontakte der Steckdosen und Stecker sind voreilend, d. h. beim Einführen des Steckers schließen sie sich, bevor die Polkontakte Spannung erhalten und öffnen sich erst, wenn das

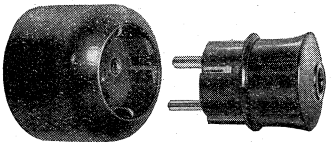


Bild 21. Steckdose und Stecker mit Schutzkontakt

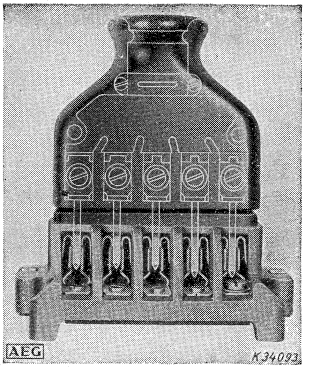


Bild 21a. Dreipolige Flakosteckdose mit Stiften für Null- und Schutzleiter sowie eingeführtem Stecker.

Gerät bereits wieder spannungslos ist. Um in gefährdeten Räumen, in denen Steckdosen mit Schutzkontakt verwendet werden, Geräte ohne Schutzleiter von der Benutzung auszuschließen, sind die Schutzkontaktdosen durch Rippen im Kragen der Abdeckungen gegen das Einführen von Steckern ohne Schutzkontakt gesperrt. Dagegen können Stecker mit Schutzkontakt einschl. des angeschlossenen Verbrauchers auch in Räumen, die keine Schutzmaßnahmen erfordern, in normalen Wohnungssteckdosen für 10 A verwendet werden.

Für Nennstromstärken über 10 A kommen die Flachstift-(Flako-)Steckvorrichtungen in Betracht, die sich durch äußerst geringe Baumaße auszeichnen. Dies bietet bei den Steckvorrichtungen mit 4 und 5 Kontaktstellen (drei Phasenleiter, ein Erdleiter und gegebenenfalls zusätzlich ein Nullleiter) ganz besondere Vorteile (Bild 21a). Durch Bügelkontaktfedern und Schaltmesser wird ein stets einwandfreier Stromübergang und ein gleichmäßiger Kontaktdruck erzielt. Lichtbogensichere Zwischenwände verhindern ein Zusammenschlagen etwa auftretender Lichtbögen, so daß man den Stecker auch unter Last ziehen kann.

Zur Erzielung der Voreilung sind die Steckerstifte für Erdung und Nullung etwas länger gehalten als die übrigen Stifte. Für die Befestigung der biegsamen Anschlußleitung ist im Stecker eine Zugentlastungsschelle vorgesehen. Durch Erweiterung der Halsöffnung der Dose bis zu 24 mm Durchmesser lassen sich Feuchtraumleitungen in den erforderlichen Querschnitten und Leiterzahlen anschließen. Der Steckerstift, der den Erd- bzw. Schutzleiterkontakt vermittelt, und seine Anschlußschraube sind zur Kennzeichnung verkupfert, desgleichen die Anschlußstellen in der Steckdose.

Die Anschlußklemmen der Steckdosen sind vorderseitig zugängig. Die Rohreinführungen der Isolierstoffkappen für Rohr 29 mm, sind durch Isolierschieber geschlossen, die ihrerseits für Rohr 21 mm und 16 mm ausbrechbar sind. Der hochgezogene Schutzkragen, der in dem Bild fortgelassen ist, gibt den erforderlichen Berührungsschutz. Führungsrippen und Nuten sichern einwandfreie Polunverwechselbarkeit und schließen die Verwendung nicht zugehöriger Stecker aus.

Das Schutzkontaktsystem ist auf die gebräuchlichsten Ausführungen zwei- und dreipoliger Steckvorrichtungen einschl. Kupplungs- und Gerätesteckdose ausgedehnt. Bei der Verwendung der Steckvorrichtungen mit Schutzkontakt sind die nachstehenden Angaben zu beachten.

Die Nullung kann nur in Netzen mit geerdetem Nulleiter angewendet werden. Bei einphasigen Stromverbrauchern besteht hier die festverlegte Zuleitung bis zur Steckdose aus dem Nulleiter und einem Außenleiter. Beide Leiter sind an die Buchsen-

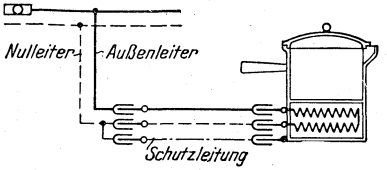


Bild 22. Anschluß bei Anwendung der Nullung.

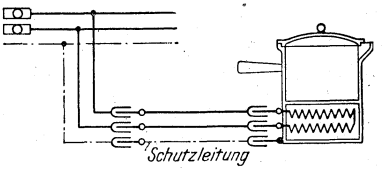


Bild 23. Anschluß bei Anwendung der Erdung oder der Schutzschaltung.

kontakte der Steckdose anzuschließen und der Schutzkontakt mit dem Buchsenkontakt des Nulleiters durch einen kurzen Draht sorgfältig zu verbinden (Bild 22). Bei dreiphasigen Stromverbrauchern ist der Nulleiter, obwohl er zu ihrem Betrieb nicht erforderlich ist, ebenfalls als festverlegte Leitung mitzuführen, darf aber nur an den Schutzkontakt der Steckdose angeschlossen werden.

Die Erdung ist in einem Netz, in dem die Nullung angewendet wird, ohne Verbindung mit dem Nulleiter unzulässig. Sie kommt hauptsächlich für Netze ohne Nulleiter in Betracht. Als festverlegte Leitung ist bei der Erdung außer den zwei bzw. drei Phasenleitungen noch eine Erdungsleitung erforderlich, die an den Schutzkontakt der Steckdose anzuklemmen ist (Bild 23).

Die Schutzschaltung kann unabhängig vom Stromsystem in allen Netzen angewendet werden. Sie ist insbesondere dadurch gekennzeichnet, daß sie auch mit hohem Erdungswiderstand arbeiten kann, also die Schwierigkeiten einer guten Erdung mit geringem Widerstand entfallen. Sie erfordert aber vom Schutzschalter ab die Verlegung einer besonderen Schutzleitung, die mit den stromführenden Leitungen mitzuführen ist und an welche die zu schützenden metallenen Anlageteile sowie der Schutzkontakt der Steckdosen anzuschließen sind (Bild 23).

Die Ausführung der Anschlußleitung zu dem ortsveränderlichen Stromverbraucher ist bei allen drei Schutzarten die gleiche. Am zweckmäßigsten ist die Verwendung von Gummischlauchleitungen, doch sind für geringe mechanische Beanspruchungen in trockenen Wohnräumen auch die Zimmerschnüre mit gemeinsamer Beflechtung zulässig. Die Anschlußleitung muß für einphasige Stromverbraucher stets drei Adern und für dreiphasige stets vier Adern haben, da als Schutzleitung eine besondere, an der Stromzuführung nicht beteiligte Leitung erforderlich ist.

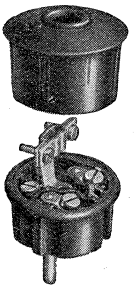


Bild 24. Stecker mit Schutzkontakt.

In Bild 24 ist ein geöffneter Stecker mit Schutzkontakt dargestellt. Die Anschlußleitung wird in die mit dem Schutzkontakt in Verbindung stehende Klemmvorrichtung eingeklemmt, so daß die Forderungen nach Zugentlastung sowie Schutz gegen Abstreifen und Verdrehen erfüllt sind. Die Kappe wird, nachdem sie auf den Stecker aufgesetzt worden ist, durch zwei Schrauben an demselben befestigt. Das zweite Ende der Anschlußleitung wird an die Klemmen des ortsveränderlichen Stromverbrauchers angeschlossen. Hierbei ist zu beachten, daß die Schutzleitung mit den stromführenden Leitungen nicht vertauscht wird. Sie muß an die hierfür vorgesehene Erdungsschraube angeschlossen werden. Ihre Verbindung mit dem Sternpunkt der Ständerwicklung bei Drehstrommotoren ist nicht erforderlich. Bei einigen Arten von Geräten, wie Kochern, Bügeleisen usw., die mit Gerätesteckern ausgeführt werden, wird das zweite Ende der Anschlußleitung nicht unmittelbar mit dem Gerät verbunden, sondern mit einer Gerätesteckdose versehen. Bei dieser ist der Schutzkontakt als seitlicher Metallbelag angebracht, der beim Einführen der Steckdose in den Gerätestecker gegen seinen metallenen Schutzkragen gedrückt wird und so die Verbindung mit dem zu schützenden Gehäuse des Gerätes vermittelt.

Mehrfachgeräte.

In Wohnräumen kommt es häufig vor, daß zwei oder drei Geräte an derselben Stelle der Wand angeordnet werden müssen. In diesen Fällen ist es vorteilhafter, die Geräte nicht einzeln, sondern in einem gemeinsamen Gehäuse unterzubringen. Diesem Zweck dienen die Mehrfachgeräte, die für Auf- und Unter-Putz-Anordnung ausgeführt werden. Das Auf-Putz-Gerät (nur zweifach) setzt sich aus Kappe mit Grundplatte und zwei Einsätzen zusammen, während das Unter-Putz-Gerät (zwei- und dreifach) aus Dose mit Befestigungsbügel, Abdeckplatte und zwei bzw. drei Einsätzen besteht (Bild 25). Die Einsätze können beliebig als Drehschalter, Kippschalter, Steckdosen, Schutzsteckdosen oder Druckknöpfe gewählt werden, so daß

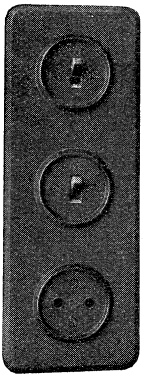


Bild 25. Unterputz-Mehrfachgerät mit 2 Schaltern und 1 Steckdose.

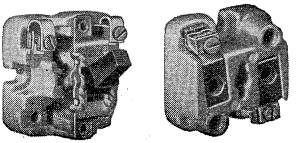
der verschiedenste Zusammenbau möglich ist. Die Einführung der Zuleitungen erfolgt durch ausbrechbare Öffnungen, die in der Kappe bzw. der Dose entsprechend vorgepreßt sind. Die beim Einputzen von Unter-Putz-Geräten möglichen Höhenunterschiede können durch den beweglichen Bügel ausgeglichen werden, so daß bei fertigem Einbau Schalter und Steckdose stets gerade sitzen und die Abdeckplatte, die braun oder elfenbeinfarbig geliefert wird, plan aufliegt.

Flachversenkte Geräte.

In Anpassung an den neuzeitlichen Wohnungs- und Siedlungsbau hat die AEG ein Unter-Putz-System entwickelt, dessen Abmessungen wesentlich kleiner sind als die Unter-Putz-Ausführungen bisheriger Bauart. Ein Maßvergleich dieses neuen Systems (Bild 26) mit dem bisherigen Unter-Putz-Gerät läßt diesen Vorteil ohne weiteres erkennen.

Das flachversenkte System ist ein-, zwei- und dreiteilig durchgebildet für Kippschalter, Steckdosen, Schutzsteckdosen, Lichtdrücker, Fernsprech- und Rundfunkstecker, die in beliebiger Zusammenstellung verwendet werden können. Bild 27 zeigt einen Kippschalter und eine Steckdose dieses Systems.

Wesentlich ist die für das Einputzen benötigte geringe Bautiefe von nur 28 mm, die den Einbau auch in dünne Zwischenwände gestattet. Bild 28 zeigt, welche erhebliche Ersparnis an Stemmarbeit durch die geringe Bautiefe gegenüber den sonst üblichen Versenkgeräten erzielt wird. Die Stirnseiten des Gehäuses sind eingesenkt, um einen festen Sitz in der Wand zu erreichen. Für die Einführung der Rohre (13,5 und 16 mm) sind vorgepreßte Öffnungen vorhanden.



Kippschalter. Steckdose.
Bild 27. Flachversenkte Geräte.

Nachdem das Gehäuse mit Hilfe einer Einbaulehre sauber in die Wand eingeputzt ist und die Leitungen eingezogen sind, werden die Einsätze angeschlossen und in die federnden Befestigungskreuze am Gehäuseboden eingeklemmt. Die aufgeschraubte Abdeckplatte hält die Einsätze an dem Gehäuse fest und bildet mit ihrer eingenarbten Oberfläche und ihren glatten abgeschrägten Rändern einen sauberen Abschluß der Gesamtanordnung. Die Abdeckplatten und die Schalterknebel werden in brauner und in elfenbeinweißer Tönung hergestellt.



Bild 26. Flach versenkte Geräte, 2 Schalter 1 Steckdose.

Geräte für Impu-Leitungsverlegung.

Bei der neuen verdeckten Imputz-Leitungsverlegung werden die als flache Stegleitungen (s. S. 363) ausgebildeten Mehrfachdrähte auf dem unverputzten Mauerwerk mit Stahlnadeln angeheftet. Der später aufzubringende Putz gibt ihnen dann den notwendigen mechanischen Schutz. Stemmarbeiten kommen also kaum noch in Betracht. Dieser flachen Verlegungsart sind die zur Verwendung kommenden Geräte angepaßt. Das Wandgehäuse für den Einbau der Geräte ist nur 11 mm tief, mithin nicht stärker als die Putzschicht (Bild 29). Das Gehäuse wird auf dem Mauerwerk mit einem Dübel befestigt. Es hat Ausbrechöffnungen für die Einführung der Impu-Stegleitung.

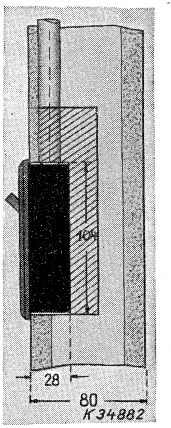


Bild 28. Platzbedarf einer flachversenkten Einbaudose und eines üblichen Versenkgerätes.

Die Einsatzgeräte werden auf dem Gehäuseboden aufgeschraubt. Die Klemmen aller Geräte sind sowohl zum Anschluß von Kupfer- als auch Aluminiumleitungen geeignet. Der Schalter ist als Wippenschalter ausgebildet, der durch seine niedrige



Bild 29. Wandgehäuse.

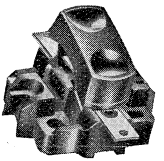


Bild 30. Schaltereinsatz.

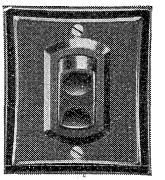


Bild 31. Isolierstoffplatte.

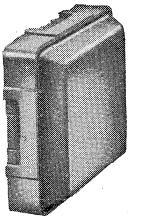
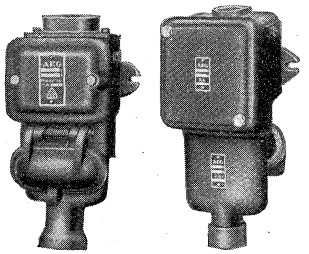


Bild 32. Abzweigdose.

Bauart eine sehr günstige Form der Abdeckung, die nur wenig über den Putz herausragt, gestattet (Bild 30). Die Abdeckungen werden als viereckige Isolierstoffplatten in brauner oder elfenbeinweißer Farbe geliefert (Bild 31). Die Abzweigdosen sind elfenbeinweiß und haben viereckige Form. Der gewölbte Deckel wird auf die Dose aufgedrückt (Bild 32).



Normal- ausführung — Ausführung nach DIN 9450/9451

Bild 33. Unverriegelte Kragensteckvorrichtungen

Gußgekapselte Steckvorrichtungen.

Steckvorrichtungen sind in gewerblichen, industriellen und landwirtschaftlichen Anlagen einer erhöhten Beanspruchung ausgesetzt. Für solche Betriebe sowie für die Anbringung im Freien werden daher zweckmäßig Steckvorrichtungen mit starkwandigem, gut abgedichtetem Gußgehäuse verwendet. Bild 33 stellt unverriegelte Kragensteckvorrichtungen dar, deren Anwendung bei Spannungen bis 250 V gegen Erde (also beispielsweise bei Drehstrom verkettet bis 380 V mit geerdetem Nulleiter) zulässig ist. Bei höheren Spannungen müssen laut VDE 0100,13b verriegelte Steckvorrichtungen (Bild 34) vorgesehen werden, bei denen der Stecker durch einen in die Steckdose eingebauten Paket- oder Hebelschalter derart blockiert ist, daß ein Einstecken oder Herausziehen des Steckers unter Spannung verhindert wird.

Mit den Kragensteckvorrichtungen können die Nennstromstärken innerhalb der angegebenen Spannungsgrenzen gefahrlos geschaltet werden. Beim Anschluß einer Steckvorrichtung ist immer darauf zu achten, daß der beim Öffnen der Vorrichtung unter Spannung verbleibende

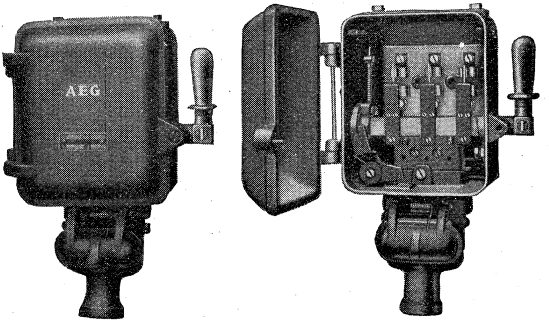
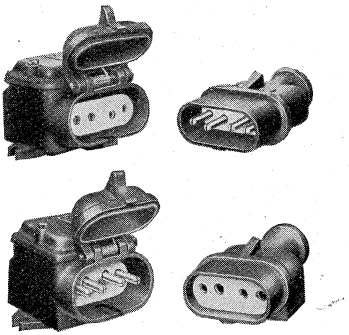


Bild 34. Mit Hebelschalter verriegelte Steckvorrichtung VS ohne Sicherungen.

Teil die Hülsen besitzt. Die Hülsen sind so tief in den mit den entsprechenden Öffnungen versehenen Isolierteil eingebettet, daß eine zufällige Berührung der Hülsen mit den Fingern bei ausgezogenen Stiften nicht möglich ist (Bild 35). In den meisten Fällen ist der feste Teil der Steckvorrichtung, die Steckdose, an die Stromquelle angeschlossen. Unter Umständen muß die Stromquelle aber auch an dem beweglichen Teil angeschlossen werden, der dann die Hülsen enthalten muß. Die unverriegelte Steckvorrichtung wird daher in zwei Ausführungen (siehe Bild 35) hergestellt.



Ausführung A. Dose mit Hülsen, Stecker mit Stiften.

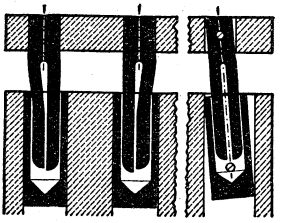
Ausführung B. Dose mit Stiften, Stecker mit Hülsen.

Bild 35. Unverriegelte AEG-Kragensteckvorrichtungen Krst.

Der Stecker besitzt eine angegossene Nase, die bedingt, daß beim Stecken die Polarität des Verbrauchers und damit z. B. der Drehsinn eines angeschlossenen Drehstrommotors nicht geändert werden kann.

Die AEG-Steckvorrichtungen besitzen geschlitzte Rundstifte. Stifte und Hülsen sind in den aus keramischem Material bestehenden Isolierteilen beweglich angeordnet. Der besondere Vorzug dieses Schwenkkontaktsystems besteht darin, daß sich infolge der beweglichen Lagerung die Stifte und Hülsen gegenseitig immer gut einstellen können, ohne daß die Kontaktteile überbeansprucht werden (Bild 36).

Die normalen, zwei- und dreipoligen Kragensteckvorrichtungen sind mit Erdungsschleiffeder aus nichtrostendem Werkstoff versehen. Bei der vierpoligen Ausführung ist die Erdungsschleiffeder durch einen Erdungsstift, der voreilend Kontakt gibt, ersetzt. Dieser ist durch Anordnung, Farbe und Erdungszeichen als solcher kenntlich gemacht und kann leitend mit dem Gehäuse verbunden werden.



Überbeanspruchte Kontakte bei starrer Lagerung

Leichtes Einspielen d. Kontakte bei beweglicher Lagerung.

Bild 36. AEG-Schwenkkontakt-Bauart mit Rundstiften.

Unverriegelte und verriegelte Kragensteckvorrichtungen werden auch mit angebauter Sicherung (Armatur-Steckvorrichtungen) oder eingebauten Sicherungselementen hergestellt. Sie sind dann zu empfehlen, wenn mit einer starken Beanspruchung oder Beschädigung der abgehenden beweglichen Leitungen zu rechnen ist (Bild 37).

Bild 38 zeigt eine Sonderausführung der unverriegelten Kragensteckvorrichtung, und zwar für durchgehende Leitungsführung, z. B. für Einbau in eine Steigeleitung. Sie besteht aus der normalen Kragensteckvorrichtung mit aufgesetztem Zwischenstutzen für rückseitige Leitungszuführung.

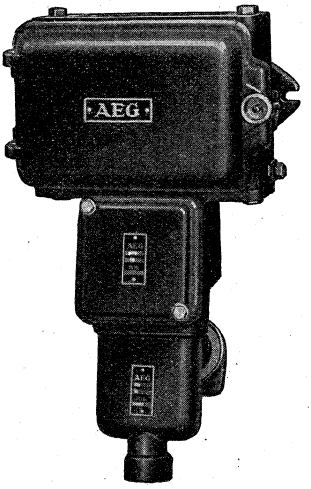


Bild 37. Armatursteckvorrichtung mit gekapselten Sicherungen für genormten Stecker.

Werden die Steckvorrichtungen nicht für ortsfesten Einbau, sondern für bewegliche Anordnung benötigt, so verwendet man Kupplungssteckvorrichtungen (Bild 39), für welche besonders in der Landwirtschaft reges Interesse besteht.

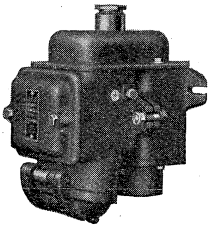


Bild 38. Sonderausführung einer unverriegelten Kragensteckvorrichtung Krst mit Zwischenstutzen für durchgehende Leitungsführung.

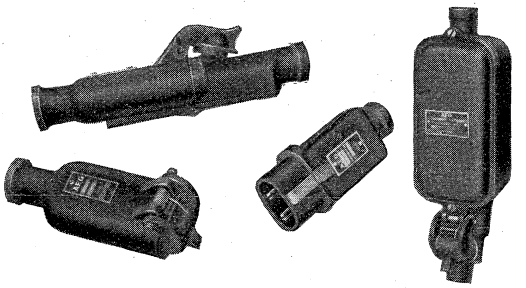


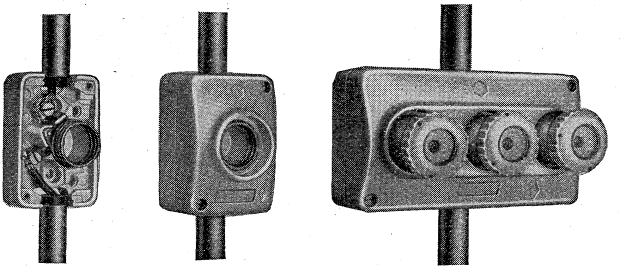
Bild 39. Kupplungssteckvorrichtungen. Links: übliche Ausführung, rechts: mit einem in die Kupplungsdose eingebauten Schutztransformator.

Für Kleinspannungs-Stromkreise, z. B. für Handlampen, gibt es verschiedene Sonderausführungen, z. B. Steckerkupplungsdosen (Bild 39) oder Lichtkasten mit angebauter Steckvorrichtung. Ein Einphasen-Schutztransformator für 25 oder 50 VA ist in einem Gußgehäuse untergebracht, das am oberen Flansch mit einer Gewindebohrung für die Stromzufuhr versehen ist und unten eine Armatursteckdose trägt.

Auf Wunsch können die unverriegelten Kragensteckvorrichtungen nach Bild 33 und 37 auch in der Ausführung nach DIN VDE 9450/9451 geliefert werden. Die runden Kontaktstifte sind hier nicht geschlitzt, sondern massiv; die Hülsen dagegen sind geschlitzt und mit einer besonderen Federung versehen. Die Erdungsschleiffeder ist auch bei der dreipoligen Ausführung durch einen Erdungsstift ersetzt. Die Abmessungen dieser DIN-VDE-Steckvorrichtungen sind genormt, als Ausführung gelangt nur die Form: Dose mit Hülsen, Stecker mit Stiften, zur Verwendung. Auch diese genormten unverriegelten Steckvorrichtungen sind gemäß VDE 0100,13b nur für Spannungen bis 250 V gegen Erde zugelassen.

Schmelzsicherungen

dienen zum Schutze elektrischer Leitungen gegen Überlastungen. Hauptsächlich werden Schmelzsicherungen in Form von Einsatzpatronen verwendet. Dieses System wird für Stromstärken bis 200 A hergestellt und ist in Stufen unterteilt, die sich im Durchmesser des Gewindes voneinander unterscheiden. Am gebräuchlichsten sind die Gewinde E 2 (E 27) bis 25 A, E 3 (E 33) bis 60 A, E 4 (E 40) bis 100 A und E 5 bis 200 A.



a) Einpolig mit angeschlossenen Leitungen. b) Einpolig, fertig angeschlossen. c) Dreipolig, fertig angeschlossen, mit Schmelzstöpseln

Bild 40. Wandelemente E 27, mit oder ohne Nullschiene.

Die Sicherungselemente werden je nach ihrer Verwendungsart als Einbau-, Wand- und Schalttafel-Elemente geliefert (Bild 40 . . . 42).

Die eigentlichen Sicherungsteile, welche in die Sicherungen eingesetzt werden, die **zweiteiligen Schmelzstöpsel**, bestehen aus der Einsatzpatrone, in der sich die Schmelzdrähte befinden, und der Schraubkappe (Bild 43). Die Patrone hat in dem Stirnkontakt einen Springkörper, der beim Durchbrennen der Schmelzdrähte freigegeben wird und durch das Fenster der Schraubkappe beobachtet werden kann. Der in den Errichtungsvorschriften VDE 0100/X.38 gestellten Forderung der Unverwechselbarkeit der Schmelzstöpsel entspricht das Zede-System, Type D, mit Durchmesserunterschieden. Die Unverwechselbarkeit ist durch die Paßschrauben gegeben. Diese sind mit einem Isolierkragen versehen und erhalten mit steigender Stromstärke größere Bohrungen, in welche die entsprechenden Fußkontakte der Patronen greifen. Auf eine bestimmte Paßschraube passen also wohl Patronen geringerer Stromstärke, nicht aber solche höherer Stromstärke.

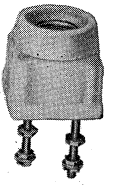
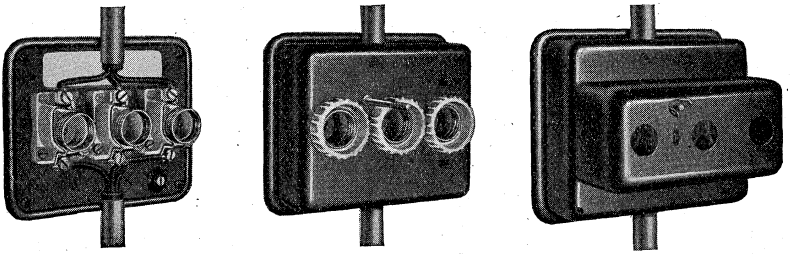


Bild 41. Schalttafelsicherung.



a) Schutzkasten und Haube abgenommen. b) Mit Schutzkasten. c) Fertig angeschlossen

Bild 42. Sicherungen mit und ohne Nullschiene in Schutzgehäuse aus Stahlblech.







Bild 43. Patrone mit Schraubkappe u. Paßschraube.

Gegenüber diesen unverzögerten Patronen bedeuten die für gleiche Stromstufen gebauten und gleichgroßen **kurzverzögerten Sicherungspatronen Träga** (Bild 44) einen wesentlichen Fortschritt. Wegen ihrer geringen Wärmeempfindlichkeit sind sie besonders in Stromkreisen mit kurzzeitigen Belastungsspitzen mit Vorteil verwendbar, z. B. für Motoren mit Käfigläufer, hochkerzige Metalldrahtlampen, medizinische und Photoleuchten usw. Die Träga-Patronen ermöglichen also eine Mehrbelastung der Leitungen innerhalb der VDE-mäßig gegebenen Grenze.



Bild 44. Sicherungs-Patrone Träga.

Ein weiterer Schritt führt zu der **langverzögerten Tardo-Sicherung** (Bild 45), die als das thermische Abbild der zu schützenden Leitung anzusprechen ist. In Bild 46 stellt a die Stromzeitkennlinie einer NGA-Leitung von 2,5 mm² (aufgenommen an 3 in einem Rohr verlegten NGA-Leitungen), b diejenige der nach VDE zugeordneten Nennstromstufe einer Tardo-Sicherung von 15 A dar. Da Fälle mit ungünstigerer Leitungsabkühlung nicht vorkommen können, ergibt der Vergleich der Stromzeitkennlinien, daß für alle Verlegungsarten durch die Tardo-Sicherung völlig einwandfreier Leitungsschutz bei höchstmöglicher Ausnutzung des Querschnitts gewährleistet ist. Dagegen ist beim Vergleich der a-Kurve mit der Stromzeitkennlinie der normalen unverzögerten Schmelzsicherung (Kurve c) die unbefriedigende Belastungsmöglichkeit offensichtlich.

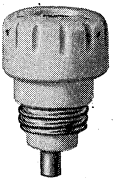


Bild 45 Tardo-Sicherung.

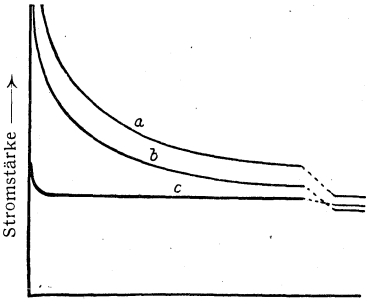


Bild 46.
Kurve a: Stromzeitcharakteristik für 3 NGA 2,5 mm² in Isolierrohr,
Kurve b: desgl. einer Tardosicherung 15 A,
Kurve c: desgl. einer Patronensicherung 15 A.

Bei Verwendung von Tardo-Sicherungen können daher neue Anlagen durch Ersparnis an Leitungswerkstoff billiger erstellt und vorhandene Anlagen besser ausgenutzt werden. Wegen ihrer geringen Eigenverluste wird sie als Hauptsicherung in Hausanschlußkästen bevorzugt.

Die Tardo-Sicherungen sind als einteilige Schmelzstöpsel mit Sicherungsgewinde E 2 und E 3 und mit den gleichen Fußkontakten wie die üblichen Sicherungspatronen ausgebildet. Sie werden für Stromstärken von 6 bis 60 A hergestellt.

Installations-Selbstschalter.

An Stelle der Sicherungen werden für Lichtverteilungen vielfach Installations-Selbstschalter, Elfa-Automaten, verwendet. Sie haben für alle Stromarten die gleiche Ausführung.

Je nach ihrem Verwendungszweck und der äußeren Ausführung unterscheidet man die Formen:

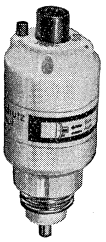


Bild 47
Elfa-Einschraubautomat.

Einschraubautomat für vorhandene Anlagen, zum Einschrauben in jedes Sicherungselement mit Gewinde E 27 unter Verwendung der entsprechenden Kontaktschrauben (Bild 47).

Schalttafelautomat ersetzt ein Sicherungselement und Schmelzstöpsel, zum Aufsetzen auf Schalt- und Verteilungstafeln, mit rückseitigem Bolzenanschluß.

Einbauautomat mit freiliegenden Anschlußklemmen und Befestigungslöchern zum Einbau in gekapselte Sicherungen, Zählertafeln usw.

Elfa-Automat für Verteilungsanlagen, in Ausführung wie der Einbauautomat, jedoch mit erhöhten Klemmen zum Anschluß von Sammelschienen.

Automat zum Einstecken in einen fest angebauten Stecksockel, erleichtert die Auswechslung und Anpassung an Belastungsänderungen (Bild 48).

Die Einschaltung dieses Selbstschalters geschieht durch Niederdrücken des Druckknopfes, die Ausschaltung von Hand ermöglicht ein zweiter kleinerer Druckknopf. Infolge der thermischen Verzögerungseinrichtung werden kurzzeitige Stromstöße, wie sie beim Einschalten von hochkerzigen Metalldrahtlampen und Motoren auftreten und die den Leitungen nicht schaden, durchgelassen. Bei lang andauernden Überlastungen wird dagegen nach einer entsprechenden Zeit der Stromkreis unterbrochen. Bei Kurzschlüssen erfolgt durch den magnetischen Auslöser sofortige Abschaltung. Die Freiauslösung gewährleistet das sichere Abschalten auch beim Festhalten des Druckknopfes in der Einschaltstellung.

Elfa-Leitungsschutzautomaten „L" (roter Einschaltdruckknopf) gestatten eine erhöhte Ausnutzung der Hausleitungsanlage. Nach den VDE-Vorschriften ist für die Absicherung von Licht-Verteilungsleitungen mit Rücksicht auf die noch verlegten kleineren Querschnitte (1 mm² und Fassungsader 0,75 mm²) als Schmelzsicherung höchstens eine solche von 6 A vorgeschrieben. Der Elfa-Leitungsschutzautomat 6 A gestattet aber eine dauernde Stromentnahme von 10 A, trotzdem sein

thermischer Auslöser so eingestellt ist, daß die Auslösekennlinie noch unterhalb der zulässigen Grenztemperaturkurve der Leitung von 0,75 mm² verläuft. Nach dem gleichen Grundsatz werden ferner Leitungsschutzautomaten für 10 A zur Ausnutzung von Leitungen 1,5 mm² bis 15 A und für 15 A zur Ausnutzung von Leitungen 2,5 mm² bis 20 A geliefert. Die Querschnittsangaben beziehen sich auf Cu-Leitungen.

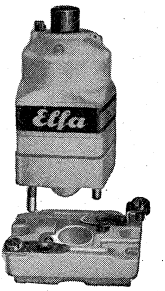


Bild 48. Elfa-Steckautomat.

Elfa-Tarifwächter „TW" (schwarzer Einschalt-, roter Ausschaltknopf) haben die Aufgabe, beim Übergang zu Pauschaltarifen einen unzulässigen Stromverbrauch über die vereinbarte Stromstufe hinaus zu verhindern. Bei Überschreitung derselben schaltet der Wärmeauslöser in einer mit dem bestellenden Elektrizitätswerk zu vereinbarenden kurzen Zeit ab. Diese kurze Verzögerung ist andererseits ausreichend, um kurzzeitige betriebsmäßige Stöße aufzufangen, ohne den Automaten zum Abschalten zu bringen. Da hierbei auch kleinste Leistungen berücksichtigt werden müssen, werden die Tarifwerte in kleinen Stromstufen zwischen 0,5 A bis 20 A hergestellt.

Elfa-Automaten in Motorstromkreisen „M" (grüner Einschaltknopf). Der Schutz der Motoren durch Elfa-Automaten darf nicht mit dem im Sinne der Motorschutzschalter verwechselt werden, da letztere stets allpolig abschalten. Elfa-Automaten werden daher nur in bestehenden Anlagen und nur in den Fällen verwendet, in denen der Ersatz der Schutzsicherungen durch einen vollwertigen Motorschutzschalter nicht angängig ist.

Bei den Elfa-Automaten ist mit Rücksicht auf den Einschaltstrom und die betriebsmäßig kurzzeitig auftretenden Stromspitzen die Ansprechgrenze des elektromagnetischen Auslösers auf das Acht- bis Zwölffache des Nennstromes eingestellt. Der thermische Auslöser wurde der Wärmebelastbarkeit des Motors weitestgehend angepaßt. Die Automaten werden in feinen Stromstufen geliefert, da ihre Nennstromstärke mit der des Motors möglichst genau übereinstimmen muß. Die Auswahl muß nach untenstehender Tafel, die für Gleichstrom bis 220 V und für Wechsel- bzw. Drehstrom bis 380 V gilt, erfolgen.

Nennstrom A		Nennstrom A		Nennstrom A		Nennstrom A	
des Motors	des Elfa-Autom.	des Motors	des Elfa-Autom.	des Motors	des Elfa-Autom.	des Motors	des Elfa-Autom.
bis 0,5	0,5	über 2,5—3	3	über 6 —7	7	über 12,5—15	15
über 0,5—1	1	über 3 —3,5	3,5	über 7 —8	8	über 15 —17,5	17,5
über 1 —1,5	1,5	über 3,5—4	4	über 8 —9	9	über 17,5—20	20
über 1,5—2	2	über 4 —5	5	über 9 —10	10	über 20 —25	25
über 2 —2,5	2,5	über 5 —6	6	über 10—12,5	12,5		

Anschluß von Aluminiumleitungen

Die Umstellung von Kupfer- auf Aluminiumleitungen erfordert eine Änderung der Anschlüsse an den Geräten. Es ist nicht möglich, den Cu-Leiter ohne weiteres durch den Al-Leiter zu ersetzen und wie jenen anzuschließen. Die Eigenart des Aluminiums verlangt eine besondere Behandlung. Das Al-Anschlußsystem ist indes ohne weiteres auch bei Cu-Anschluß anzuwenden.

Schalter und Steckdosen der oben beschriebenen Anschlüsse können in einfacher Weise für Al-Anschluß hergerichtet werden, wobei es gleichgültig ist, ob Dreh- oder Kippschalter, ob gesicherte oder ungesicherte Steckdosen, ob einfaches oder Schukomaterial vorgesehen ist. Die Schalter- und Dosenklemmen werden mit einem gut federnden Stahlbügel ausgerüstet, der durch die Anschlußschraube gehalten und beim

Anziehen dieser mit seinem unteren leicht gewölbten Schenkel auf den Al-Leiter gedrückt wird (Bild 49). Der beim Anziehen der Schraube erzielte Druck sichert den stets blanken Kontakt zwischen Klemme und Leiter: Die Al-Oxydschicht wird verdrängt und durch die Federung das Nachgeben des Aluminiums ausgeglichen.

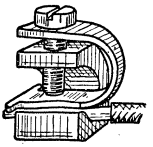


Bild 49. Klemme mit federndem Stahlbügel.

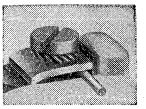


Bild 50. Fächerscheibe.

Der Stahlfederbügel ist jederzeit ohne Schwierigkeit nachträglich an Schaltern und Steckdosen anzubringen; also auch eingebaute können sofort von Cu- auf Al-Anschluß umgestellt werden. Dreh- und Kippschalter haben den gleichen Bügel. Die Eigenart der Steckdosen-Anschlußklemme verlangt eine geringe Abwandlung des Bügels. Die Einsätze der flach versenkten Geräte (siehe Seite 389) haben durchweg Stahlfederbügel.

Die Klemmen des Lichtdrückers, mit Ausnahme des flachversenkten Lichtdrückers, erhalten bei Al-Anschluß federnde Fächerscheiben, die beim Festklemmen des Al-Leiters wie die Stahlfederbügel wirken (Bild 50). Das Drahtende ist unter die Druckplatte zu klemmen!

Die Kalottenklemme bei Abzweigdosen wird für Al-Anschluß mit einer unverlierbaren Wellenfederscheibe versehen. Die Innenseite der Druckplatte ist geriffelt, um die sich bei Al-Leitern an der Luft sofort bildende Oxydschicht beim Zuklemmen wegzuschaben (Bild 51).

Der Al-Anschluß bei Sicherungselementen ist für E 27 und E 33 gleich. Die Anschlußfahne und die zugehörige Stahlblechplatte, Tatzenklemme, wirken hier wie der Stahlfederbügel. Die Fahne ist geriffelt, während die Platte federnd auf dem Leiter aufliegt (Bild 52). Der Anschluß bei Schalttafel-Elementen und Elementen E 4 und E 5 wird mit Federring und Scheibe vorgenommen. Anordnung: Federring, Unterlegscheibe, Drahtöse. Das Drahtende wird in diesem Falle ausnahmsweise zu einer Öse gebogen.

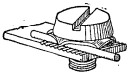


Bild 51. Wellenfederscheibe.



Bild 52. Tatzenklemme.

Die Nulleiterklemmen als massive Maulklemmen haben zum Ausgleich verschiedener Querschnitte zwei unabhängig voneinander wirkende federnde Stahlblecheinlagen. Alle weiteren Klemmen, die bei der Verlegung von Al-Leitungen in Gebrauch sind, erhalten für Al-Anschluß die unverlierbare Wellenfederscheibe; Auflagefläche geriffelt.

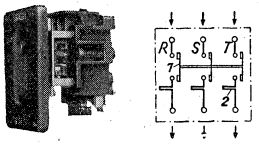
Für die Leitungsverlegung wird auf folgende Punkte besonders hingewiesen:

1. Bei Al-Leitern den 1,6fachen Querschnitt des Cu-Leiters wählen (genaue Werte siehe Seite 287).
2. Das Leiterende nach Abisolieren mit Messer oder Feile sauber abschaben! Schmirgelleinewand und Glaspapier sind nicht zu benutzen!
3. Das Leiterende anschließend sofort einfetten, nicht mit den Händen berühren!
4. Das Leiterende gerade in die Klemme stecken, keine Öse biegen! (Ausnahme bei der Verwendung von Federringen.)
5. Scharfe Biegekante bei Anschlußklemmen, die starken Erschütterungen ausgesetzt sind, vermeiden!
6. Die fertige Al-Verbindung nochmals einfetten!

Selbstschalter.

Allgemeines.

Selbstschalter sind Schaltgeräte, die bei dem Auftreten von Störungen in der durch sie geschützten Anlage die Stromlieferung selbsttätig unterbrechen (Sicherheitsventile der elektrischen Anlage). Überstromschalter erfüllen gleichzeitig die Aufgaben von Schaltern und Sicherungen. Gegenüber letzteren bieten sie eine Reihe von Vorteilen, z. B. zuverlässigeren Schutz durch allpolige Abschaltung, bessere Anpassung an die Betriebsverhältnisse und die Möglichkeit der Prüfung und Eichung, ferner durch stete Betriebsbereitschaft, Vermeidung von Werkstoffverschleiß, Betriebsausfällen usw. Durch Selbstschalter mit entsprechenden Auslösern kann nicht nur ein Schutz gegen zu hohe Ströme, sondern auch gegen zu kleine Ströme oder Spannung, gegen Stromfluß in falscher Richtung, gegen das Auftreten gefährlicher Berührungsspannung u. a. erzielt werden. Durch das Anbringen von Hilfskontakten können elektrische Verriegelungen geschaffen oder Ruf- und Lichtzeichen betätigt werden (Erhöhung der Betriebssicherheit). AEG-Selbstschalter sind stets mit Freiauslösung ausgerüstet, so daß sie durch Festhalten des Betätigungsorgans o. dgl. nicht in ihrer Wirksamkeit behindert werden können (vgl. VDE 0660,17). Bei dem Versuch, den geschützten Anlageteil einzuschalten, wird daher der Selbstschalter stets sofort wieder auslösen, wenn die Störung noch vorhanden ist.

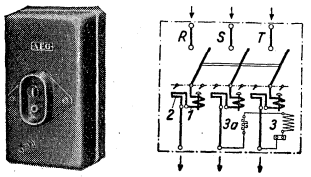


1 = Kontakte, 2 = Wärme-(Bimetall-)Auslöser.
Bild 53.
Klein-Motorschutzschalter, Form Mb 6, Einbauform.

Anwendung.

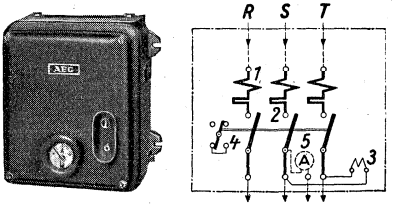
Nach den zu schützenden Geräten und Anlageteilen kann man unterscheiden: Schalter zum Schutz von elektrischen Maschinen, Leitungen, Batterien, Kondensatoren usw.

Nach dem zu erreichenden Schutz bzw. der Art der Auslöser (s. Seite 402) ergeben sich als Unterteilung: Überstrom-, Rückstrom-, Unterstrom-, Unterspannungs-, Trennschutzschalter u. a. Vielfach werden auch mehrere dieser Arten in einem Gerät vereinigt. Daneben gibt es eine Reihe von Schaltern für Sonderzwecke, z. B. Feldschwächungsschalter für Stromerzeuger, Schnellschalter für den Schutz von Einankerumformern, Gleichrichtern und Bahnanlagen, Rückwattschalter für vermaschte Netze, Stationsschalter für Netze mit Nullung, selbsttätige Ladeschalter für Sammlerbatterien u. a.



1 = Schnellauslöser, 2 = Wärme-(Bimetall-)Auslöser, 3 = Unterspannungsauslöser, 3a = Vorwiderstand für den Unterspannungsauslöser über 220 V.
Bild 54.
Motorschutzschalter, Form MSBr für 25 A, mit Isolierkappe.

Je nach dem Ort der Unterbringung sind die Schalter in offener Ausführung für den Einbau in Schalttafeln, elektrische Betriebsräume usw. (Bild 53), in Ausführung mit Abdeckhaube für trockene, staubfreie Räume (Bild 54) oder mit Stahlblech-, Isolier- oder Gußgehäuse zu wählen (Bild 55). Damit für jeden Betrieb das geeignete Gerät gewählt werden kann, sind genaue Angaben über die Kapselung notwendig (P 00 bis P 44), die am unzweideutigsten nach folgender Tafel (Din VDE 50, Beibl. 3) erfolgt:



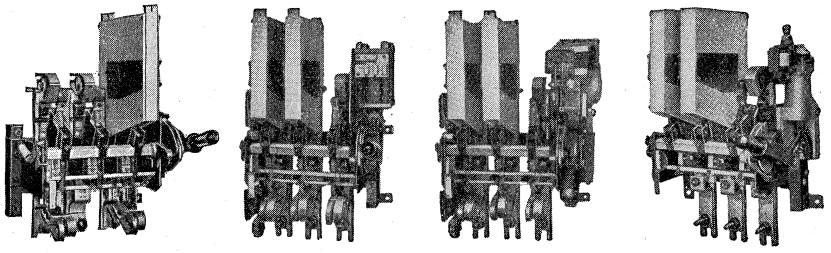
1 = Schnellauslöser, 2 = Wärme-(Bimetall-)Auslöser, 3 = Unterspannungsauslöser, 4 = Hilfskontakt, 5 = Strommesser.
Bild 55.
Motorschutzschalter, Form AMsb, für 40 A, in Gußgehäuse.

Berührungsschutz (Schutz gegen Berührung spannungführend. Teile)	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper und Staub	Kennziffer	Ohne Wasserschutz	Tropfwasserschutz	Spritzwasserschutz (Regenschutz)	Schwallwasserschutz	Feuchtigkeitsschutz (Kapselung gegen Wasserdampf)
		0	1	2	3	4	
ohne Berührungsschutz	**offen** ohne Schutz gegen feste Fremdkörper	0	P 00	—	—	—	—
Schutz gegen zufällige Berührung	**geschirmt** Schutz gegen große feste Fremdkörper	1	P 10	—	—	—	—
	abgedeckt Schutz gegen kleine feste Fremdkörper	2	P 20	—	—	—	—
Schutz gegen absichtliche Berührung	**geschlossen** Schutz gegen groben Staub	3	P 30	—	P 32	—	—
	gekapselt Schutz gegen feinen Staub	4	P 40	P 41	P 42	—	P 44

Betätigung.

Man unterscheidet hand- und fernbetätigte Selbstschalter (Bild 56).

Die Handbetätigung kann durch geschützt auf dem Gerät angeordnete Druckknöpfe oder Schaltgriffe und durch Gestängeantrieb (für Schalttafeleinbau) erfolgen. Dieser Antrieb wird in neuerer Zeit immer weniger verwendet. Dafür ordnet man im Schaltgerüst fernbetätigte Schaltgeräte und auf der Schalttafel-Vorderseite nur die Betätigungsorgane (Druckknopf- oder Schwenkschalter) an.



a b c d

a = Handbetätigung, b = Magnetantrieb, c = Motorantrieb, d = Druckluftantrieb (Funkenkammern z. T. abgenommen).

Bild 56. Überstrom-Selbstschalter, Form EM, für 600 A.

Zur Ferneinschaltung kann ein Einschaltmagnet, Einschaltmotor oder Druckluftantrieb gewählt werden. Steht für die Betätigung Gleichstrom zur Verfügung, so wird der Einschaltmagnet verwendet, steht Drehstrom zur Verfügung, so wird für Schalter bis 600 A der Wechselstrommagnet, ab 600 A der Antriebsmotor zu wählen sein. Dieser ist als Drehstrommotor auszubilden, da Wechselstrommotoren infolge ihres geringen Anlaufdrehmomentes ungeeignet sind. Der Antriebsmotor hat den Vorteil, daß er keine erheblichen Einschaltstromstöße verursacht. Er arbeitet weicher als der Magnetantrieb und schont dadurch den Schalter. Obwohl er langsamer schaltet als der Magnet, liegt seine Einschaltgeschwindigkeit immer noch unter 0,5 Sekunden. Ebenfalls weich schaltet der Druckluftantrieb, der sich für Schalter ab 350 A rasch eingebürgert hat. Er läßt eine ganz erheblich höhere Schalthäufigkeit zu als der Magnet- oder Motorantrieb. Der Druckluftantrieb ist daher besonders für rauhe Betriebe

geeignet, in denen erhöhte Ansprüche an die Schalter gestellt werden. Steht keine Druckluftanlage (Verdichter) im Betrieb zur Verfügung, so ist auch eine handelsübliche Druckluftflasche ausreichend, z. B. können bei dreipoligen 1000-A-Schaltern 4000 bis 5000 Schaltungen aus einer 50-l-Flasche ausgeführt werden.

Die Fernausschaltung erfolgt durch Kurzschließen oder Unterbrechen der Unterspannungsspule oder über einen Arbeitsstromauslöser (Ausschaltmagnet), der durch Betätigungsschalter oder selbsttätige Einrichtungen bedient werden kann (Bild 57). Der Arbeitsstromauslöser wird hierbei kurzzeitig erregt und hebt die Verklinkung des Schalters auf.

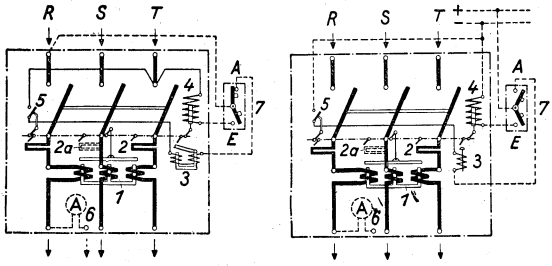


Bild 57. Fernausschaltung.
a) durch Unterbrechen der Unterspannungs-Spule, b) durch Arbeitsstromauslöser.
1 = Schnellauslöser, 2 = Wärme-(Bimetall-)Auslöser, 2a = Dritter Wärmeauslöser, 3 = Unterspannungsauslöser (a) bzw. Arbeitsstromauslöser (b), 4 = Einschaltmagnet, 5 = Hilfskontakt zu 3, 6 = Strommesser, 7 = Druckknopfschalter.

Die Fernbetätigung gestattet den Anbringungsort des Schalters unter Berücksichtigung der günstigsten Leitungsführung und Betriebsverhältnisse zu wählen. So können die Betätigungorgane ohne weiteres in staubigen, heißen, feuchten oder explosionsgefährdeten Räumen, die eigentlichen Schalter aber in anderen Räumen angeordnet werden. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit können auch die Betätigungsorgane gleichartiger Betriebe mit dem Rückmeldeorgan auf einer Steuertafel vereinigt werden.

Bauart.

Nach der Bauart unterscheidet man verklinkte und unverklinkte Schalter. Außerdem ergibt sich eine Unterteilung in solche Schalter, die in Luft, und solche, die in Öl schalten. Letztere werden nur unverklinkt und nur für Drehstrom ausgeführt.

Die verklinkten Schalter (Bilder 53...57) werden durch ein Klinkwerk in der Einschaltstellung festgehalten, bedürfen also keiner Haltespule wie die Schütze. Dafür sind die Klinkwerkteile dem Verschleiß unterworfen.

Die unverklinkten Schalter, auch Schütze genannt (Ölschütz Bild 58, Luftschütz Bild 59), werden durch die Einschaltspule gehalten, diese muß demnach während der Dauer der Einschaltung unter Spannung stehen. Die Schütze werden von geringen Stromstärken an bis zu 1000 A und mehr in verschiedenen Ausführungsarten gebaut. Sie werden bei kleinen Leistungen (bis etwa 200 A) zu Einbau- oder Anbau-

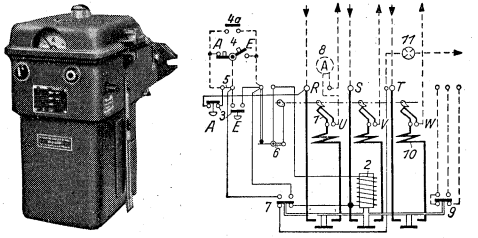


Bild 58. Unverklinkter Motorschutz-Ölfernschalter, Form MSBO, für 60 A.

1 = Wärme-(Bimetall-)Auslöser,
2 = Schaltmagnet,
3 = Eingebauter Druckknopfschalter,
4 = Getrennt angeordneter Druckknopfschalter,
4a = Getrennter Betätigungsschalter, z. B. Schwimmer-Schalter usw.,
5 = Bei getrenntem Druckknopfschalter fällt diese Verbindung fort,
6 = Auslösekontakt,
7 = Selbsthaltekontakt für 2 bzw. Hilfskontakt für „Aus"-Stellung,
8 = Strommesser,
9 = Hilfskontakt für beide Schaltstellungen,
10 = Schnellauslöser,
11 = Signallampe in „Aus"-Stellung.

steuerungen zusammengebaut, bei mittleren Leistungen auf Isolierstoffplatten in Blechschränke eingebaut, bei großen Leistungen und umfangreichen Anlagen zu freistehenden Steuerungen vereinigt (Bilder siehe Seite 246 und 247).

Schützensteuerungen werden entweder durch kleine Steuerwalzen oder durch Druckknöpfe, Schwenkschalter, Hilfsstrom-Endschalter u. dgl. betätigt, die nur die Spulenströme der Schützmagnete schalten. Bild 60 zeigt z. B. die Schaltungen eines Luft- und eines Ölschützes.

Die zulässige Belastung ist für einige kleinere Schütze aus den Tafeln 1 und 2 zu entnehmen (siehe Seite 407 und 408).

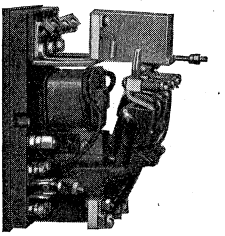
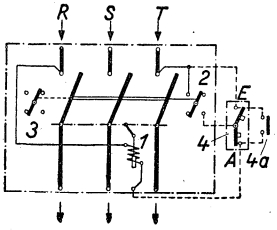


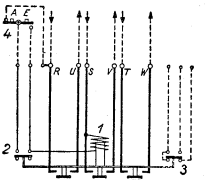
Bild 59. Luftschütz, Form S 23, dreipolig, 20 A.

Schalthäufigkeit.

Die Wahl zwischen verklinkten und unverklinkten Schaltern richtet sich nach der Schalthäufigkeit, d. i. die Gesamtzahl der in einer Stunde vorkommenden Einschaltungen (VDE 0655, 4). Die mechanische Lebensdauer der unverklinkten Schalter ist praktisch unbegrenzt. Dagegen ist die Lebensdauer der Kontakte in viel höherem Maße als bei verklinkten Schaltern abhängig vom Ein- und Ausschaltstrom. Als Anhaltspunkt kann gelten,



1 = Schaltmagnet
2 = Selbsthaltekontakt für 1
3 = Hilfskontakt (nur auf besondere Bestellung)
4 = Getrennte Doppeldruckknopfschalter
4a = Getrennter Betätigungsschalter



a) Luftschütz, Form LF 15/30. — Bild 60. Schützschaltungen. — b) Ölschütz, Form OF 25.

daß bei Ölschaltern bis zu 5000 Schaltungen, bei Luftschützen 20...100 000 Schaltungen zulässig sind, bis sich ein Auswechseln der Kontakte als nötig erweist. Eindeutige Angaben hierüber sind in den Preislisten enthalten. Sofern mildere Betriebsbedingungen vorliegen, kann die Lebensdauer der Kontakte bedeutend höher angenommen werden. Es ergibt sich somit für die Auswahl verklinkter und unverklinkter Schalter ungefähr folgende Regel:

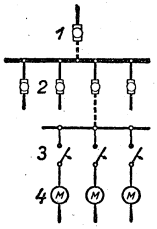
Schalterart	bis zu etwa Schaltungen
Verklinkte Schalter	50 je Tag
Unverklinkte Ölschalter	50 je Stunde
Unverklinkte Luftschalter	50 je Minute

Weitere Angaben siehe unter „Motorschutzschalter".

Schaltleistung.

Bei der Auswahl von Überstrom-Selbstschaltern ist stets zu untersuchen, unter welchen Bedingungen (Höhe des Kurzschlußstromes, bei Ws und Ds cos φ, bei Gs Größe der Induktivität im Netz) der Schalter bei Kurzschluß ausschalten muß. Die Größe der Kurzschlußstromstärke ist von den Verhältnissen im Leitungsnetz, u. a. von der Größe des Kraftwerkes und seiner Entfernung vom Schalter abhängig (siehe auch „Kurzschlußsicherheit von Industrieanlagen"). Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen Schaltern, die Kurzschlüsse durch Schnellauslöser (Schlaganker siehe Seite 402) selbst abschalten können, und Schaltern, die durch Sicherungen geschützt werden müssen. Im letzteren Fall darf der vorgeschriebene Höchstwert der Vorsicherung nicht überschritten werden. Im allgemeinen werden bei Stromstärken

ab 25 A „kurzschlußfeste“ Schalter bevorzugt. Bei diesen müssen auch die eingebauten Wärmeauslöser kurzschlußfest sein, d. h. sie dürfen durch vorübergehend auftretende Kurzschlußströme nicht in ihrer Wirksamkeit beeinträchtigt werden. Die Schaltleistungsangaben in den AEG-Listen erfolgen nach VDE 0660, 71, da Angaben für einmalig zu erzielende Höchstleistungen nicht immer maßgebend sind. Wenn die in der Anlage mögliche Kurzschlußleistung derart groß ist, daß sie die Abschaltleistung der Schalter übersteigt (z. B. Motorschutzschalter in Eigenbedarfsanlagen von großen Kraftwerken), so benötigen auch Schalter mit Schnellauslösern Vorschaltsicherungen. Sind in einer Unterverteilung mehrere Schalter zu einer Gruppe zusammengefaßt, so kann bei entsprechender Bemessung die Gruppensicherung die Rolle des Kurzschlußschutzes übernehmen, ohne daß Einzelsicherungen für die Schalter erforderlich sind (Bild 61).



1 = Hauptsicherung,
2 = Gruppensicherung,
3 = Motor-Sicherheitsfernschalter,
4 = Motoren.

Bild 61. Gruppensicherungen als Kurzschlußschutz.

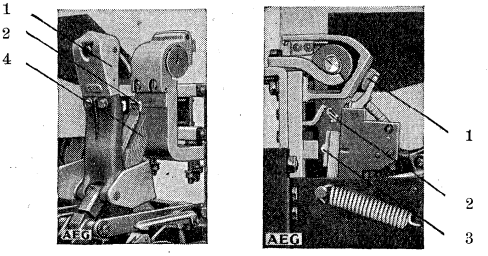
Wird die Leistungsgrenze eines Schalters überschritten, so können die Kontakte ausglühen oder zusammenschweißen, und es kann Steh- oder Polfeuer auftreten.

Der Gefahr des Ausglühens begegnet man durch folgende Maßnahmen: Unterteilung der Kontakte (Bild 62) in Hauptkontakte, die den Dauerstrom führen und keiner Abnutzung durch Lichtbogenbildung unterliegen, und in Abreißkontakte, die kurzzeitig den Ein- oder Abschaltstrom übernehmen und ohne wesentliche Unkosten und Betriebsstörung leicht auswechselbar sind.

Bei den größeren Schaltern werden die Hauptkontakte statt aus Kupfer aus Silber hergestellt oder die Kupferkontakte stark versilbert. Das sich unter dem Einfluß von Wärme sehr leicht auf Kupfer bildende Kupfer-Oxydul bewirkt unter Umständen eine starke Erhöhung des Kontaktübergang-Widerstands, die zum Ausglühen der Schalterkontakte führen kann. Im Gegensatz zu Kupfer tritt bei Silber unter normalen Verhältnissen nur sehr schwer eine Oxydation ein. Die auf dem Silber sich bildenden Fremdschichten (z. B. Schwefelsilber) sind mechanisch wenig widerstandsfähig, so daß sie beim Schalten weggedrückt werden. Silberhauptkontakte gewährleisten daher praktisch unveränderten Kontaktübergang-Widerstand. Eine Wartung durch Abschmirgeln und Einfetten, wie sie Kupferkontakte erfordern, ist bei Silberhauptkontakten nicht erforderlich.

Bei den neu entwickelten Schaltern werden statt der früher verwendeten Lamellen-Bürsten nur Klotzkontakte verwendet (Bild 62, rechts). Bei den Bürstenkontakten wird der Kontaktdruck durch die vom Strom durchflossene Bürste selbst erzeugt. Der Bürstenkontakt ist daher sehr empfindlich gegen Überlastung. Im Gegensatz dazu wird beim Klotzkontakt der Anpreßdruck durch besondere Stahlfedern erzeugt, die nicht unmittelbar durch den Strom beheizt werden. Beim Klotzkontakt konnten daher wesentlich höhere Erwärmungen zugelassen werden als beim Bürstenkontakt (70° C statt 35° C). Er kann unbedenklich kurzzeitig überlastet werden, ohne daß eine Beeinträchtigung der Betriebssicherheit zu befürchten ist.

Schweißen der Abreißkontakte ist möglich beim Auftreten hoher Anlaufströme, z. B. beim direkten Einschalten eines Kurzschlußmotors. Die Kontaktstücke



Frühere Ausführung Neue Ausführung
1 = Abreißkontakt, 2 = Vorkontakt, 3 = Silberklotz-Hauptkontakt, 4 = Bürsten-Hauptkontakt (lamelliert).

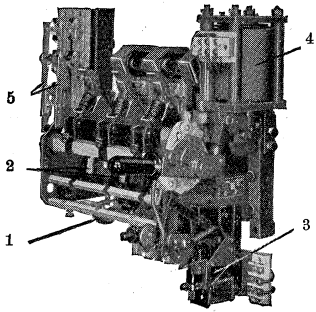
Bild 62. Kontaktanordnungen mit lamellierten Bürstenkontakten (links), mit Silberklotzkontakten (rechts).

der festen und beweglichen Abreißkontakte werden daher aus zwei miteinander schwer verschweißbaren Metallen, z. B. Kupfer und Messing hergestellt. Durch Verwendung von Wälzkontakten mit großer Vorspannung werden allenfalls sich bildende Schweißstellen an den Abreißern im Verlauf der Einschaltung wieder abgerissen.

Stehfeuer tritt beim Abschalten hoher Kurzschlußströme auf, wenn der Lichtbogen zwischen festen und beweglichen Abreißkontakten nicht unterbricht. Dabei verbrennen die Kontakte und es treten womöglich noch Überschläge nach geerdeten Teilen der Schaltanlage ein. Reichliche Schaltwege, große Abschaltgeschwindigkeit und ein kräftiger Blasmagnet sorgen für rasche Abschaltung des in einer Funkenkammer geführten Lichtbogens.

Schlägt das Stehfeuer von Pol zu Pol über (Polfeuer), so bedeutet dies die Einleitung neuer Kurzschlüsse. Bei gekapselten Geräten höherer Schaltleistung werden daher zwischen die Pole noch Trennwände gesetzt.

Welche dieser Maßnahmen bei der Entwicklung der einzelnen Schalter zugrundegelegt wird, ist abhängig vom Nennstrom, sowie der Schaltleistungsgruppe, der das Gerät angehören soll.



1 = Wärme-(Bimetall-)Auslöser, 2 = elektromagnetische Schnellauslöser, 3 = Unterspannungsauslöser, 4 = Einschaltmagnet, 5 = Hilfskontakte.

Bild 63. Anordnung der Auslöser und Hilfskontakte an einem Motorschutzschalter, Form EMF, für 350 A.

Auslöser.

Für den Überstromschutz werden bei allen AEG-Überstrom-Selbstschaltern bis 2000 A (Bild 63) stromabhängig verzögerte Wärme-(Bimetall-) Auslöser verwendet, die aus je zwei miteinander verschweißten oder aufeinander gewalzten Metallen mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten bestehen und künstlich gealtert, d. h. frei von Alterungserscheinungen und elastischen Nachwirkungen sind. Die Streifen werden entweder selbst vom Strom durchflossen oder zur Erzielung größerer Trägheit indirekt beheizt. Bei Überlastung biegen sich die Streifen infolge der Stromwärme in einer Richtung aus und führen über einen verstellbaren Anschlag die Auslösung herbei. Der Auslösegrenzstrom der Bimetallstreifen liegt zwischen dem 1,05- und 1,2fachen des eingestellten Stromes. Größe und Formgebung der Bimetallauslöser sind je nach Nennstrom und Bauart des Gerätes verschieden.

Für den Kurzschlußschutz werden bei den kurzschlußfesten Selbstschaltern (siehe Seite 400) unverzögert wirkende elektromagnetische Schnellauslöser eingebaut, die auf ein Vielfaches der Nennstromstärke eingestellt sind und mit den Wärmeauslösern in Reihe geschaltet werden. Sie sprechen bei Anlaßvorgängen sowie bei betriebsmäßigen Überlastungen nicht an. Die Kurzschlußabschaltung mit Schnellauslösern ist der Abschaltung durch Sicherungen überlegen, da Anschaffungs-, Einbau- und Betriebskosten geringer sind und der durch das Auswechseln von Sicherungspatronen bedingte Betriebsstillstand vermieden wird.

Bei Ölschaltern ab 40 A wird die magnetische Auslösung durch einen Schlaganker (DRP.) unterstützt. Hierdurch wird die Abschaltgeschwindigkeit und damit die Schaltleistung erhöht und das Schweißen der Kontakte verhindert.

Sämtliche Ölschalter mit Kurzschlußauslösung haben Kurzschlußsperrung, d. h. nach erfolgter Kurzschluß-Abschaltung muß zuerst eine mechanische Sperre aufgehoben werden, bevor der Schalter wieder eingelegt werden kann. Wiederholtes gedankenloses Schalten auf den Kurzschluß wird dadurch vermieden. Die Sperre der Kurzschluß- und der thermischen Auslöser muß immer dann vorgesehen werden, wenn der Schalter über einen Dauerkontakt eingeschaltet wird. Andernfalls hätte man bei Überstrom fortwährendes selbsttätiges Aus- und Einschalten des Selbstschalters, welches man als Pumpen bezeichnet. Dieses würde vorzeitiges Verbrennen der Kontakte zur Folge haben.

Die an AEG-Luft-Selbstschalter anzubauende Unterspannungsauslösung (Schutz des Bedienungspersonals) spricht gemäß VDE bei Rückgang der Nennspannung unter 35% an und erlaubt das Einschalten des Schalters bei 70% der Nennspannung. Um bei Umschaltungen oder kurzzeitigen Spannungsabsenkungen ein Herausfallen des Schalters zu verhindern, so z. B. bei einem größeren Kurzschluß in einem Nebenstromkreis, ist die Möglichkeit gegeben, ein Hemmwerk mit einer Zeitverzögerung von etwa zwei Sekunden anzubauen. Die unverzögerte Unterspannungsauslösung kann auch zur Fernausschaltung (Notschaltung und für Fernschalter) verwendet werden.

Unverklinkte Schalter, bei denen die Betriebsspannung gleichzeitig auch zur Erregung des Einschalt- und des Haltemagneten dient, besitzen Unterspannungs-Auslösecharakteristik. Bei den Ölschaltern erfolgt die Kontakttrennung bei 60% und die Wiedereinschaltung bei 85% der Nennspannung. Um bei kurzzeitigen Spannungs-Absenkungen das Herausfallen der Ölschalter zu verhindern, können die Ölschalter noch mit einer Unterspannungs-Auslöseverzögerung bis zu 2 Sekunden ausgerüstet werden.

Es gibt außer der eingebauten Unterspannungsauslösung besondere Unterspannungs-Ausschalter und -Umschalter. Unterspannungs-Ausschalter schalten ab, sobald die Netzspannung auf etwa 50% ihres Nennwertes sinkt. Ihre Verwendung ist verhältnismäßig selten, meist wird ein Überstrom-Ausschalter, der mit Unterspannungsauslösung ausgerüstet ist, vorgesehen. Unterspannungs-Umschalter (Bild 64) dienen zur selbsttätigen Umschaltung einer Verbrauchergruppe vom Hauptnetz auf ein Hilfsnetz, sobald das Hauptnetz spannungslos ist oder die Netzspannung auf 60% ihres Wertes gesunken ist (Umschaltung auf Notbeleuchtung).

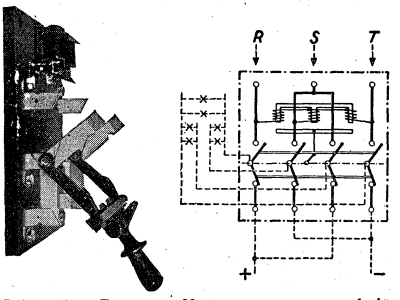


Bild 64. Zweipol - Unterspannungsumschalter, Form SVDU. Schaltbild eines vierpoligen Schalters für Umschaltung von Drehstrom o. N. auf Gleichstrom-Zweileiter.

Für die Fernausschaltung kann statt des Unterspannungsauslösers bei den verklinkten Selbstschaltern auch ein Arbeitsstromauslöser (Ausschaltmagnet) verwendet werden. Für die Spule dieses Auslösers ist ein Unterbrecherkontakt zusätzlich vorzusehen, wenn die Spannung von beiden Seiten zugeführt wird (vgl. Bild 57). Diese Spulen müssen nach den VDE-Vorschriften bei 50% der Nennspannung ansprechen.

Für den Schutz gegen Unterstrom, wie er als Schutz einer Sammlerbatterie gegen Entladung in den Stromerzeuger nötig ist, wenn die Stromlieferung der Maschine unter einen bestimmten Betrag sinkt, dienen die Unterstrom-Ausschalter (Bild 65), die nach Vorbelastung mit Nennstrom bei etwa 5% des Nennstromes auslösen. Das Einschalten ist bei Schaltern für 10 bis 100 A nur bei 15...20%, bei Schaltern für 200 A nur bei 30% des Nennstromes möglich.

Auch für Rückstromschutz gibt es besondere einpolige Schalter (Bild 66), die bei 10...15% des Nennstromes ansprechen, wenn sie vorher mit vollem Vorwärts-Nennstrom belastet waren. Diese Rückstrom-Ausschalter lösen auch dann aus, wenn weder Strom noch Spannung vorhanden ist, bleiben jedoch eingeschaltet, wenn nur der Strom verschwindet.

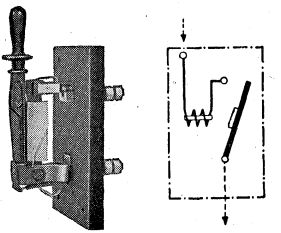
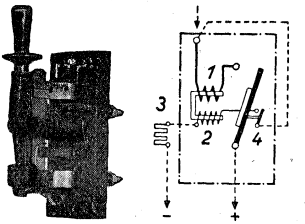


Bild 65. Unterstrom-Ausschalter, Form J.

Außerdem lassen sich die Überstrom-Selbstschalter

in Luft mittlerer und hoher Stromstärken mit einer Rückstromauslösung ausrüsten. Der Rückstromauslöser entspricht im Aufbau dem Unterspannungsauslöser, der Magnet erhält jedoch außer der Spannungsspule noch eine Stromspule. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß der Auslöser auf Unterspannung nur dann anspricht, wenn etwa ein vorgeordneter Hauptschalter herausfällt, d. h. also, wenn der Abzweig strom- und spannungslos wird. Zum Fernausschalten eines Schalters kann diese abgewandelte Unterspannungsauslösung nicht Verwendung finden, da der Strom allein den Anker noch festhalten würde. Über 2000 A verwendet die AEG ein getrenntes Rückstromrelais, welches auf den Unterspannungs- bzw. Arbeitsstromauslöser wirkt. Eine solche Rückstromauslösung ist nur bei Gleichstrom möglich.



1 = Stromwicklung, 2 = Spannungswicklung, 3 = Vorwiderstand für 2.

Bild 66.
Rückstrom-Ausschalter, Form JR.

Sofern eine Rückleistungsauslösung für Drehstrom gewünscht wird, ist ein getrenntes Rückleistungsrelais einzubauen, das dann den Arbeitsstromauslöser des Selbstschalters betätigt. Wenn bei dieser Anordnung mit einem Schalten auf einen Kurzschluß zu rechnen ist, wie es z. B. bei Maschennetzschaltern vorkommt, so muß ein Arbeitsstromauslöser verwendet werden, der noch bei 10% der Nennspannung einwandfrei anspricht. Diese Empfindlichkeit ist erforderlich, da bei einem Kurzschluß die Spannung zusammenbricht.

Um einen wichtigen Stromverbraucher vor einer Abschaltung durch Überstrom zu schützen, kann der Hauptverteilungsschalter einen Entlastungsauslöser erhalten, der nach Erreichen eines eingestellten Stromwertes andere nicht so wichtige Schalter mit Arbeitsstromauslösungen in einer Unterverteilung zum Abschalten bringt. Dieser Entlastungsauslöser wirkt also nicht auf das Schloß des Schalters, an dem er angebaut ist, sondern über einen Hilfskontakt und eine Betätigungsleitung auf einen oder mehrere nachgeordnete Abzweigschalter. Die Entlastungsauslösereinrichtung wird meist bei Schiffsanlagen verwendet.

Zum Schutz gegen gefährliche Berührungsspannungen (vgl. Seite 420) dient der Fehlerspannungsauslöser (RWE.-H.R.-Schutz). Man bezeichnet Selbstschalter, die nur mit diesem Auslöser ausgerüstet sind, als Trennschutzschalter. Sie werden für Gleichstrom bis 25 A 250 V, für Wechselstrom bis 60 A 380 V geliefert. Außerdem kann an die meisten Motorschutzschalter und alle EM-Schalter bis 1000 A zusätzlich ein Fehlerspannungsauslöser angebaut werden.

Zusätzliche Einrichtungen.

Die Mehrzahl der Überstromselbstschalter ist mit Hilfskontakten (Bild 57/58) versehen bzw. kann bei Bedarf damit ausgerüstet werden. Besonders bei den EM-Schaltern besteht die Möglichkeit des Anbaues ganzer Reihen von Hilfskontakten.

Die Hilfskontakte können verschiedenen Zwecken dienen. Alle unverklinkten Schalter benötigen einen Selbsthaltekontakt für die Haltespule, wenn sie nicht durch ein Gerät mit Dauerkontaktgabe betätigt werden. Durch Signalkontakte kann, besonders bei fern- oder indirekt betätigten Schaltern, die Schaltstellung kenntlich gemacht werden. Durch Verriegelungs- bzw. Sperrkontakte kann ein Schutz gegen Fehlschaltungen erzielt werden. Auf diese Weise ist eine bestimmte Reihenfolge in der Schaltung mehrerer Geräte zu erzwingen.

Fast alle Überstrom-Selbstschalter mit Abdeckhaube oder in gekapselter Ausführung können auch mit Strommesser mit Überlastungsskala ausgerüstet werden.

Schaltstellungsanzeiger sind bei solchen Geräten, z. B. Ölschaltern, vorgesehen, bei denen die Stellung des Schalters nicht durch die Stellung des Schaltgriffs oder der Druckknöpfe bereits kenntlich ist.

Da die Einschaltmagnete von verklinkten Schaltern nur für vorübergehende Belastung ausgelegt sind, müssen sie nach erfolgter Verklinkung durch den Betätigungsschalter unterbrochen werden. Falls Betätigungsorgane mit Dauereinschaltbefehl, wie z. B. Relais, Schwimmerschalter, Druckschalter, Thermostaten, verwendet werden, ist für den Schaltmagneten noch ein Selbstunterbrecher mit Wiedereinschaltsperre vorzusehen. Die Wiedereinschaltsperre verhindert ein Pumpen des durch Dauerkontakt fernbetätigten Motorschutzschalters beim Ansprechen der Überstromauslöser. Schalter mit Motorantrieb werden immer mit Wiedereinschaltsperre ausgeführt.

Einbau und Anschluß von Überstromschaltern.

Der Anschluß von Überstromschaltern ist aus Gründen der gefahrlosen Einstellung der Überstromauslösung sowie der einwandfreien Bewältigung der Abschaltleistung stets so vorzunehmen, daß die beweglichen Kontakte im ausgeschalteten Zustand spannungslos sind. Eine Ausnahme bilden die Netz- oder Sammelschienen-Kuppelschalter.

Durch die betriebsmäßige Erwärmung der Zu- und Ableitungsschienen werden Druck- und Zugbeanspruchungen auf den Schalter ausgeübt, die bei größeren Schaltern durch Anschluß mittels biegsamer Verbindungen vermieden werden.

Bei Selbstschaltern mit offenen Funkenkaminen soll der Abstand zwischen Oberkante Funkenkammer und darüber befindlichen spannungführenden oder geerdeten Teilen

bei Spannungen bis 250 V Gs..... mind. 0,25 m
bei Spannungen bis 250 V Ws ..... mind. 0,20 m
bei Spannungen über 250 V Gs..... mind. 0,50 m
bei Spannungen über 250 V Ws ..... mind. 0,40 m

betragen. Der Luftabstand von den Kanten des Funkenkamins zu solchen Teilen soll waagerecht nicht unter 0,2 m sein. Funkenkammern müssen im Betrieb stets aufgesetzt sein, die Blasmagnete sind auf das Vorhandensein der Blaskerne nachzusehen.

Beim Anbau von Ölschaltern an gußgekapselte Verteilungen ist es zweckmäßig, zwischen Sammelschienen und Ölschalter einen Trennschalter zu setzen, der jedoch nicht unter Last betätigt werden darf. Der Trennschalter ermöglicht ein Spannungslosmachen des Ölschalters zwecks gelegentlicher Überholung oder Auswechslung der Kontakte. Ölschalter sind stets mit gefülltem Ölkessel zu verwenden, andernfalls ein Flattern der Kontakte eintritt. Für die Füllung ist einwandfreies Transformatorenöl zu verwenden. Nach etwaiger Kurzschlußabschaltung ist die Kurzschlußstelle im Netz zu beseitigen, die Ölschalterkontakte sind nachzusehen und eine etwa vorhandene Bildung von Schmelzperlen ist zu entfernen. Dann erst kann die Wiedereinschaltsperre aufgehoben und der Schalter eingeschaltet werden.

Motorschutzschalter

Der Motorschutzschalter hat die Aufgabe, die Motorwicklung vor unzulässiger Erwärmung infolge zu hoher Stromaufnahme und dadurch bedingter Zerstörung der Wicklungsisolation zu schützen. Sobald eine zu hohe Stromaufnahme eintritt, die der Motorwicklung oder der Zuleitung zum Motor gefährlich werden kann, schaltet der Motorschutzschalter selbsttätig ab.

Um hierbei vorzeitige Ausschaltungen bei kurzzeitigen und deshalb unschädlichen Überlastungen durch hohe Anlaufströme, häufiger wiederkehrende Belastungsspitzen bei Werkzeugmaschinen und dergleichen zu vermeiden, ist es erforderlich, als Schutzeinrichtung eine verzögerte Überstromauslösung vorzusehen.

Die allpolig abschaltenden Motorschutzschalter (Bilder 53...58) bieten außer den bereits auf Seite 397 (Überstromselbstschalter, Allgemeines) genannten noch die nachstehenden Vorteile.

Wirtschaftliche Vorteile. Wichtig sind jederzeitige Betriebsbereitschaft, d. h. Vermeidung von Pausen, wie sie beim Auswechseln durchgebrannter Sicherungen entstehen, geringere Betriebskosten durch Fortfall der Lagerhaltung bzw. des Verschleißes von Sicherungen, gegebenenfalls Ersparnisse an Zuleitungen durch die Möglichkeit besserer Leitungsausnutzung. Die Zuleitung zwischen Motorschutz und Motor braucht bei Verwendung von Motorschutzschaltern nur nach dem Motornennstrom bemessen zu sein. Bei Verwendung von Abschmelzsicherungen dagegen müßte sie nach der verstärkten Abschmelzsicherung bemessen werden.

Technische Vorteile. Der Überlastungsschutz erfolgt durch Bimetallauslöser, die sich der Temperatur-Gefahrenkurve des Motors weitgehend anpassen und durch die auch eine einwandfreie Überbrückung der Anlaufverhältnisse erreicht wird. Lt. VDE 0665, C 5 und D 4 werden unterschieden: Motorschutzschalter für Anlaufbedingungen nach T I und solche nach T II. Schalter nach T I sollen beim fünffachen Anlaufstrom eine Auslöseverzögerung von mindestens 0,5 Sekunden vom kalten Zustand aus haben. Diese Verzögerung ist unzureichend, wenn beim Anfahren größere Massen zu beschleunigen sind. Für diese Fälle eignen sich Motorschutzschalter nach T II, die beim sechsfachen Strom eine Auslöseverzögerung von mindestens 5 Sekunden vom kalten Zustand aus besitzen (Bild 67). Bei sehr schweren Anlaufbedingungen, z. B. Zentrifugen, ist es zweckmäßig, sich außer den Motordaten das Diagramm des Arbeitsspieles zwecks günstigster Auslegung des Motorschutzschalters zu beschaffen. Angaben darüber, welchen Anlaufbedingungen ein Motorschutzschalter entspricht, finden sich in den Motorschutzschalter-Listen. Außerdem kann aus der Überstrom-Zeitkennlinie des Schalters vom kalten Zustande aus die Abhängigkeit der Auslösezeit von den Anlaufströmen entnommen und daher beurteilt werden, ob der Anlauf glatt vonstatten geht. Gegebenenfalls kann es auch notwendig sein, z. B. bei Anläufen, die kurz nach der Abschaltung getätigt werden müssen, von der Überstrom-Zeitkennlinie, aufgenommen vom betriebswarmen Zustande des Schalters, auszugehen.

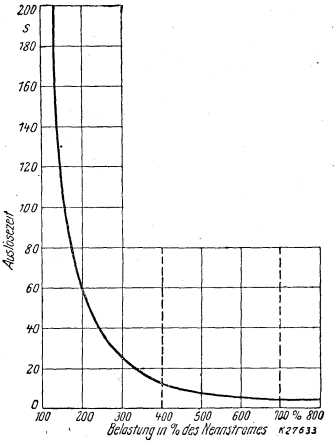


Bild 67.
Strom-Zeitkurve eines Bimetallauslösers (Anlaufbedingungen nach T II).

Schutz gegen Erdschlüsse, die wegen ihres geringen Ausmaßes vom Schnellauslöser nicht erfaßt werden, wird durch Schalter mit drei Wärmeauslösern erreicht. Die allpolige Abschaltung gewährleistet Schutz gegen Einphasenlauf und gegen die damit verbundene Gefährdung der Wicklung. Ferner bietet sie einen erhöhten Schutz für die Bedienung des Motors, da der stillstehende Motor nicht wie bei Sicherungen oder Elfa-Automaten noch an einer Phase liegen kann. Bei eingebautem Fehlerspannungsauslöser (RWE-H. R.), mit dem fast alle Motorschutzschalter ausgerüstet werden können, wird außerdem Schutz gegen Berührungsspannungen erzielt (vgl. S. 420).

Ohne erhebliche Mehrkosten sind bei vielen Motorschutzschaltern Unterspannungs- und Arbeitsstromauslöser, Fernschaltung, Betriebsanzeigevorrichtung u. dergl. ausführbar. Unterspannungsschutz (siehe auch S. 403 oben) verhindert das selbsttätige Wiederanlaufen des Motors bei Rückkehr der weggebliebenen Netzspannung. Er ist angebracht bei allen Motoren, die mittels eines Anlassers in Betrieb gesetzt werden, er ist aber unzweckmäßig in vollselbsttätigen Anlagen, z. B. Pumpwerken, die ohne Beaufsichtigung laufen. Für Betriebe, die häufigen Spannungsabsenkungen unterworfen sind, ist eine zusätzliche Unterspannungs-Auslöseverzögerung bis zu

2 Sekunden (kleines Hemmwerk) entwickelt worden, um unnötiges Abschalten der Motoren zu vermeiden.

Für die Fernbetätigung von Motorschutzschaltern gilt das auf den Seiten 398...400 (Betätigung, Bauart, Schalthäufigkeit) Gesagte. Hier soll daher nur auf die Punkte hingewiesen werden, die bei der Planung unverklinkter Motorschutz-Fernschalter zu beachten sind, und zwar:

1. Welcher Motor soll mit dem Fernschalter betrieben werden? (Offener oder geschlossener Käfigläufer, Industriedoppelnutläufer, Anlaßschleifringläufer.) Je nach der Motorbauart ist der beim Einschalten auftretende Einschaltstromstoß verschieden, wobei zu berücksichtigen ist, daß nach VDE 0530,87 zu den Listenangaben über die Höhe des Einschaltstromes bei Käfigläufer-Motoren eine Toleranz von + 20% zulässig ist, die in den meisten Fällen voll ausgenutzt wird. Man muß also bei der Planung von unverklinkten Motorschutzschaltern sowohl vom Motornennstrom als auch von dem zu erwartenden Einschaltstromstoß ausgehen (siehe auch Abschnitt „Motoren").

2. Wird mit dem unverklinkten Fernschalter der Motoranlaufstrom wieder abgeschaltet oder nicht? Dementsprechend unterscheidet man:

Reiner Schaltbetrieb: Der betriebsmäßige Motorausschaltstrom ist gleich dem Nennstrom des Motors. Beispiel: Pumpe, Lüfter. Hier gelten in nachstehenden Tafeln 1 und 2 die nicht eingeklammerten Werte.

Tafel 1. Schaltleistungen der Ölfernschalter und -schütze
in kW (gemessen an der Motorwelle).
Die Werte gelten für reinen Schaltbetrieb, die ( )-Werte für Überstrombetrieb.

Bezeichnung des Schalters		OF 16 OSB 16 OSBI 16			OF 25 MSBO 25			OF 40 MSBO 40			OF 60 MSBO 60			OF 125 MSBO 125		
Läuferart		Kz Ja =		R Ja=	Kz Ja =		R Ja=	Kz Ja =		R Ja =	Kz Ja =		R Ja =	Kz Ja =		R Ja =
		8 Jn	6 Jn	2 Jn	8 Jn	6 Jn	2 Jn	8 Jn	6 Jn	2 Jn	8 Jn	6 Jn	2 Jn	8 Jn	6 Jn	2 Jn
Für gelegentliches Schalten bis 3 × je Tag	220 V	2,6 (2,6)	3,5 (3,5)	4,5 (4,5)	3,5 (3,1)	4,5 (4,2)	6 (5,5)	8 (7,5)	11 (10)	14,5 (14,5)	8 (7,5)	11 (10)	14,5 (14,5)	14,5 (13)	20 (19)	30 (30)
	380 V	4,5 (4,5)	6 (6)	8 (8)	6 (5,4)	8 (7,2)	11 (9,5)	14 (13)	19 (17)	25 (25)	14 (13)	19 (17)	25 (25)	25 (23)	35 (32)	52 (52)
	500 V	5,3 (5,3)	7 (7)	9 (9)	7 (6,4)	9,5 (8,5)	12,5 (11)	17 (15,5)	22,5 (20)	30 (30)	17 (15,5)	22,5 (20)	30 (30)	30 (27)	41 (39)	62 (62)
Für seltenes Schalten bis 60 × je Tag	220 V	2,6 (2)	3,5 (2,6)	4,5 (5)	3,5 (2,6)	4,5 (3,5)	6 (4,5)	8 (7)	11 (9)	14,5 (13)	8 (7)	11 (9)	14,5 (13)	14,5 (12,5)	20 (18)	30 (28)
	380 V	4,5 (3,5)	6 (4,5)	8 (6)	6 (4,5)	8 (6)	11 (8)	14 (12)	19 (16)	25 (23)	14 (12)	19 (16)	25 (23)	25 (22)	35 (31)	52 (48)
	500 V	5,3 (4,1)	7 (5,3)	9 (7)	7 (5,3)	9,5 (7)	12,5 (9,5)	17 (14)	22,5 (19)	30 (27)	17 (14)	22,5 (19)	30 (27)	30 (26)	41 (36)	62 (60)
Bis 30 Schaltungen je Stunde	220 V	1,3 (1,1)	1,8 (1,5)	3,2 (2,9)	1,7 (1,5)	2,3 (1,9)	5 (4)	5 (4,3)	6,5 (5,8)	13 (12)	5 (4,3)	6,5 (5,8)	13 (12)	7,5 (7)	10 (8,5)	26 (24)
	380 V	2,2 (2)	3,1 (2,7)	5,5 (5)	3 (2.6)	4 (3,4)	8,5 (7)	8,5 (7,5)	11 (10)	23 (21)	8,5 (7,5)	11 (10)	23 (21)	13 (12)	17 (15)	45 (42)
	500 V	2,6 (2,3)	3,7 (3,2)	6,5 (6)	3.6 (3,1)	4,7 (4)	10 (8,5)	10 (9)	13 (12)	27 (25)	10 (9)	13 (12)	27 (25)	15,5 (14)	20 (18)	53 (50)
Bis 60 Schaltungen je Stunde	220 V	1,1 (0,9)	1.4 (1,2)	2,7 (2,4)	1,3 (1,2)	1,8 (1,5)	3,8 (3,2)	3.8 (3,3)	5 (4,4)	11,5 (10)	3,8 (3,3)	5 (4,4)	11,5 (10)	5,8 (5,5)	7,8 (6,8)	21 (19,5)
	380 V	1,8 (1,7)	2,3 (2,1)	4,7 (4,2)	2,3 (2,1)	3,1 (2,7)	6,7 (5,2)	6,5 (5,5)	8,5 (7,5)	20 (18)	6,5 (5,5)	8,5 (7,5)	20 (18)	10 (9)	13,5 (12)	37 (34)
	500 V	2,1 (1,9)	2,8 (2,5)	5,5 (5)	2,8 (2,5)	3,6 (3,1)	7,8 (6.8)	7,5 (6,7)	10 (9)	23 (21)	7,5 (6,7	10 (9)	23 (21)	12 (11)	16 (14)	44 (41)
Zulässiger Dauerstrom in A für Licht u. Heizbelastung		16			25			40			60			125		

Kz = Motor mit Kz-Läufer. R = Motor mit Regelschleifringläufer
Ja = Anlaufstrom. Jn = Nennstrom.

Tafel 2. Schaltleistungen der Luftfernschalter und -schütze
in kW (gemessen an der Motorwelle)
Die Werte gelten für reinen Schaltbetrieb, die ( )-Werte für Überstrombetrieb

Bezeichnung des Schalters		LF 10	MSF 15 LF 15 LFU 15		S 23 w	MSF 30 LF 30 LFU 30		SW 11 111	SW 22 222
Läuferart		Kz R *	Kz	R	Kz R	Kz	R	Kz R *	Kz R *
Für seltenes Schalten bis 60 × je Tag	220 V	2	3,5 (3,5)	4,2 (3,7)	5,2 (5,2)	8 (7,5)	8,4 (7,5)	12,5	25
	380 V 500 V	3 4	5,5 (5,5)	7 (6,2)	9 (9) 10 (10)	12 (12)	14 (12,5)	20	40
Bis 30 Schaltungen je Stunde	220 V	1,5	3,5 (3,4)	3,9 (3,4)	5,2 (4,8)	7,8 (6,9)	7,8 (6,9)	12,5	25
	380 V 500 V	2,5	5,5 (5,5)	6,5 (5,7)	9 (8,4) 10 (9,5)	12 (11,5)	13 (11,5)	20	40
Bis 60 Schaltungen je Stunde	220 V	1,3	3,5 (3,3)	3,7 (3,3)	4,8 (4,4)	7,2 (6,6)	7,2 (6,6)	12,5	25
	380 V 500 V	2,2	5,5 (5,5)	6 (5,5)	8,4 (7,7) 9,6 (8,8)	12 (11)	12 (11)	20	40
Bis 120 Schaltungen je Stunde	220 V	1,3	3,5 (3)	3,5 (3)	4,4 (4)	6,6 (6)	6,6 (6)	12,5	25
	380 V 500 V	2,2	5,5 (5)	5,5 (5)	7,7 (7) 8,8 (8)	11 (10)	11 (10)	20	40
Zulässiger Dauerstrom in A für Licht- und Heizbelastung		10	15		20	30		40	80

Kz = Motor mit Kz-Läufer (Ja = 6 Jn). R = Motor mit Regelschleifringläufer (Ja = 2 Jn)
* Für Überstrombetrieb gleiche Werte

Überstrombetrieb: Gelegentlich wird ein Strom in der Höhe des Einschaltstromes abgeschaltet. Beispiel: Abschalten von Förderhaspeln, Spindelpressen, Werkzeugmaschinen und Schiebebühnen während des Anlaufes. Hierfür gelten in den Tafeln 1 und 2 die eingeklammerten Werte.

Tippschaltbetrieb: Bis zu 10% aller Abschaltungen erfolgen bei Strömen in der Höhe des Anlaufstromes. Beispiel: Hubwerk eines Gießereikranes, Rührwerke, Brechwerke. Angaben für Tippschaltbetrieb auf Anfrage, wobei anzugeben sind Art des Betriebes, Spannung, Motornennstrom, Bauart des Motors, Zahl der Einschaltungen je Stunde, Anlaufstromspitze, Häufigkeit der Abschaltung der Anlaufstromspitze.

Einrichtbetrieb: Darunter wird verstanden jedesmaliges Einrichten der Arbeitsmaschine beim Einspannen eines neuen Werkstückes, z. B. bei einem Drehbankantrieb, bei Druck- und Brikettpressen. Beim Einrichten ist bis zu zehnmaligem Abschalten in voller Höhe des Anlaufstromes möglich. Angaben für Einrichtbetrieb ebenfalls auf Anfrage, wobei die Daten wie unter Tippschaltbetrieb vermerkt, aufzugeben sind.

Den Werten der Tafeln 1 und 2 ist eine Lebensdauer der Kontakte von 3 bis 4 Monaten je 25 Tage je 10 Stunden, also insgesamt 750 bis 1000 Betriebsstunden zugrunde gelegt. Sämtliche unverklinkten Schalter sind derart ausgelegt, daß die Kontakte ohne großen Zeit- und Geldaufwand sofort ausgewechselt werden können. Es empfiehlt sich immer eine Reservehaltung der Kontakte, dieses gilt ganz besonders für die Ölschalter.

Übersicht über die AEG-Motorschutzschalter-Ausführungen.

Die Tafel 3 gibt einen nach Nennstromstärken geordneten Überblick über die AEG-Motorschutzschalter bis 200 A. Da alle wichtigeren Daten dieser Schalter

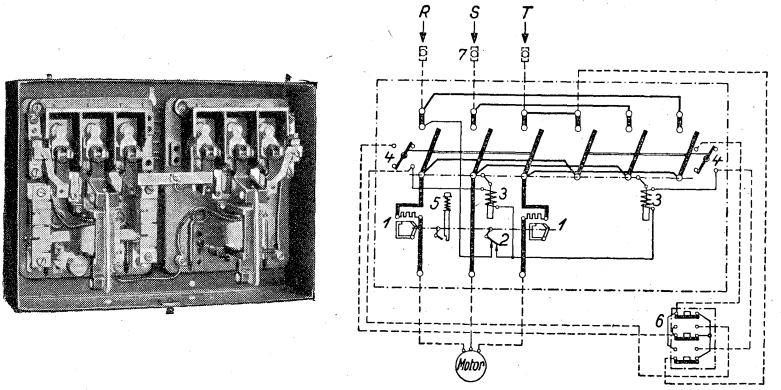
Tafel 3. Übersicht über die AEG-Motorschutzschalter.

A	Form	L=Luftschalter Ö=Ölschalter	Zahl d. Wärme-auslöser *)	Magnetische Schnellauslöser	Fehler-spannungs-auslöser RWE Heinisch-Riedl	Zahl der Hilfskontakt. normal eingebaut	Zahl der Hilfskontakt. auf Wunsch	Schutzart P	Anschlußklem-men bis mm²	Schaltleistung nach VDE 660,71 für Gs	Schaltleistung nach VDE 660,71 für Ds
6	Mb 6 AMb 6	L	3	ohne	—	—	—	00 41	6	—	**)
10	MSB 10 AMSB 10	L	2	mit	auf Wunsch	—	1 Hilfsk. 1 Sperrk.	20 44	6	Gruppe I	Gruppe I
15	MSF 15 UMSF 15 MSFU 15	L	2	ohne	—	—	1	30 42 30	2,5	**)	**)
16	MSB 16 AMSB 16 MSBI 16	L	3	mit	auf Wunsch	—	—	20 41 41	6	bis 250 V Gr. II 250...440V Gr. I	bis 500 V Gr. II
	OSB 16 OSBI 16	Ö	3	ohne	auf Wunsch	—	1	32_0	6	—	**)
25	MSB 25 AMSB 25	L	2	mit	auf Wunsch	—	1 Hilfsk. 1 Sperrk.	20 44	10	bis 250 V Gr. II 250...500V Gr. I	Gruppe II
	MSB 25n AMSB 25n MSBI 25	L	3	mit	auf Wunsch	—	—	20 41 41	10	bis 250 V Gr. II 250...440V Gr. I	bis 380 V Gr. II 380...500V Gr. I
	MSBO 25	Ö	3	ohne	auf Wunsch	—	2	42_0	10	—	**)
30	MSF 30 UMSF 30 MSFU 30	L	2	ohne	—	—	1	30 42 30	6	**)	**)
40	Msb 40 AMsb 40 JMsb 40 MFsb 40 AMFzb 40 JMFsb 40	L	3	mit	—	1	—	20 41 41 20 41 41	25	—	Gr. III bis 380V 3000A bis 500V
	MSBO 40	Ö	3	mit	auf Wunsch	2	—	32_0	16	—	Gr. II f. 1 bis 8A Gr. II 3000A, f. 8 bis 16A Gr. III 6000A, f. 16 bis 40A
60	MSB 60 AMSB 60	L	2 od. 3	mit	auf Wunsch	—	1 Hilfsk. 1 Sperrk.	20 44	35	Gruppe III 5000A bis 250V Gruppe II 4000A bis 440V 3000A bis 550V	Gruppe III 7500A bis 380V 6000A bis 550V ***)
	MSBO 60	Ö	3	mit	auf Wunsch	3	—	32_0	25	—	Gruppe IV 10000 A†)
100	MSB 100 AMSB 100	L	2 od. 3	mit	auf Wunsch	—	2 Hilfsk. 1 Sperrk.	20 44	50	Gruppe III 5000A bis 250V Gruppe II 4000A bis 440V 3000A bis 550V ***)	Gruppe III 6000A bis 550V 7500A bis 380V ***)
	MSBF 100 AMSBF 100				—			20 44			
125	MSBO 125	Ö	3	mit	auf Wunsch	3	—	32_0	50	—	Gruppe IV 12000 A†)
200	MSB 200 AMSB 200	L	2 od. 3	mit	auf Wunsch	—	2 Hilfsk. 1 Sperrk.	20 44	95	Gruppe III 5000A bis 250V Gruppe II 4000A bis 440V 3000A bis 550V	Gruppe III 6000A bis 550V 7500A bis 380V
	MSBF 200 AMSBF 200				—			20 44			
	MSBO 200	Ö	3	mit	auf Wunsch	3	—	32_0	185	—	Gruppe IV 15 000 A

*) Der Auslösegrenzstrom der Wärmeauslöser (Bimetallauslöser) liegt zwischen dem 1,05- und 1,2-fachen des eingestellten Motornennstromes.
**) Vorsicherungen stets erforderlich.
***) Jedoch nur bis zum 300fachen der unteren Nennstromstärke der Wärmeauslöser.
†) Jedoch nur bis zum 600fachen der unteren Nennstromstärke der Wärmeauslöser.

aus der Tafel zu entnehmen sind, soll auf eine Beschreibung der einzelnen Ausführungen, für die zum Teil Sonderdruckschriften zur Verfügung stehen, verzichtet werden. Neben den in der Tafel angegebenen Schaltern gibt es hand- und fernbetätigte verklinkte Luft-Motorschutzschalter EM mit Bimetall- und elektromagnetischen Auslösern, sowie mit zahlreichen Abänderungsmöglichkeiten für 350, 600, 1000 und 2000 A in offener und gekapselter Ausführung, letzere mit und ohne Strommesser.

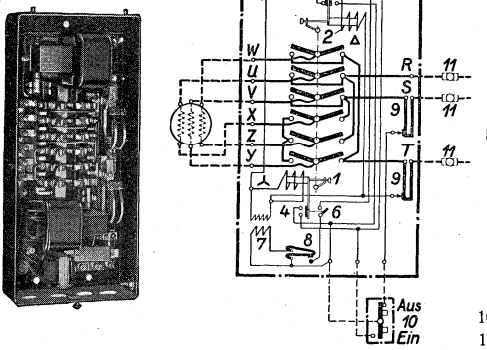
An Sonderausführungen von Motorschutzschaltern seien noch erwähnt: Motorsicherheits-Fern-Umkehrschalter (Bild 68), die aus zwei Motor-Sicher-



1 = Wärmeauslöser, indirekt beheizt, 2 = Unterbrecherkontakt, von 1 betätigt, 3 = Schaltmagnete, 4 = Selbsthaltekontakte zu 3, und zwei Hilfskontakte in der Ausschaltstellung geschlossen, 5 = Sperrlöseknopf, 6 = Dreifach-Druckknopfschalter, 7 = Vorsicherungen.
Bild 68. Motor-Sicherheits-Fern-Umkehrschalter, Form MSFU 15 (Deckel abgenommen).

heits-Fernschaltern aufgebaut werden, welche derart miteinander verriegelt sind, daß nur entweder der eine oder der andere Schalter eingelegt werden kann. Die Umkehrschalter dienen dazu, dem Motor je nach der Schalterstellung verschiedene Drehrichtungen zu erteilen.

Die fernbetätigten Motorschutz-Stern-Dreieck-Schalter Form SDF (Bild 69) für 500 V sind für 25 A ausgelegt, haben Stahlblechgehäuse (Schutzart P 30)

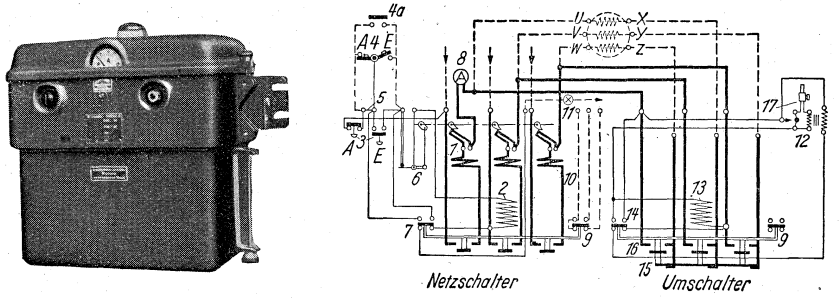


1 = Schaltmagnet für die Sternschaltung,
2 = Schaltmagnet für die Dreieckschaltung,
3 = Unterbrecherkontakt für den ⅄-Schaltmagneten,
4 = Selbsthaltekontakt für den ⅄-Schaltmagneten,
5 = Selbsthaltekontakt für den △-Schaltmagneten,
6 = Unterbrecherkontakt für Zeitelement,
7 = Heiztransformator für Zeitelement,
8 = Zeitelement für die selbsttätige Umschaltung,
9 = Wärme-(Bimetall-)Auslöser,
10 = Getrennter Druckknopfschalter,
11 = Vorsicherungen.

Bild 69. Fernbetätigter Motorschutz-Stern-Dreieck-Schalter, Form SDF.

Bimetallauslöser in zwei Phasen und selbsttätige Schnellumschaltung von Stern auf Dreieck. Für den Kurzschlußschutz sind Sicherungen vorzuschalten.

Die fernbetätigten Motorschutz-Stern-Dreieck-Ölschalter Form MSBO/SD (Bild 70) für 50 und 110 A haben Gußgehäuse (Schutzart P 32), Bimetallauslöser in drei Phasen, dreipoligen Schnellauslöser und Schlaganker. Sie sind je aus



1 = Wärme-(Bimetall-)Auslöser, 2 = Schaltmagnet des Netzschalters, 3 = Druckknopfschalter, 4 = Getrennt angeordneter Druckknopfschalter, 4a = Getrennter Betätigungsschalter, z. B. Schwimmerschalter, 5 = Bei getrenntem Druckknopfschalter fällt diese Verbindung fort, 6 = Auslöse- und Wiedereinschalt-Sperrkontakt, 7 = Selbsthaltekontakt für Netzschalter bzw. Hilfskontakt für Ausschaltstellung, 8 = Strommesser, 9 = Hilfskontakt für beide Schaltstellungen, 10 = Schnellauslöser, 11 = Signallampe für „Aus"-Stellung, 12 = Zeitelement für die Umschaltung von $\curlywedge$ auf $\triangle$, 13 = Schaltmagnet des Umschalters, 14 = Selbsthaltekontakt für Umschalter, 15 = Kontakte für die Sternschaltung, 16 = Kontakte für die Dreieckschaltung, 17 = Zeiteinstellwiderstand.

Bild 70. Fernbetätigter Motorschutz-Stern-Dreieck-Ölschalter, Form MSBOSD 50.

einem normalen und einem modifizierten Schalter MSBO aufgebaut. Die Umschaltung erfolgt nach einer zwischen 7 und 20s einstellbaren Anlaufzeit selbsttätig.

Explosionsgeschützte Ölschalter besitzen am Ölkessel eine besondere Ölstands-Anzeigevorrichtung, zudem im Ölkessel einen Kontakt, der selbsttätig die Haltespule unterbricht, wenn der Kessel herabgelassen wird. Der Ölkessel ist außerdem gegen unbefugtes Herabnehmen durch Schlösser gesichert, die Deckelschrauben können nur mit besonderen Werkzeugen geöffnet werden.

Kranschaltkästen bestehen aus je einem Hauptschalter (gekapselter Motorschutzschalter nur mit elektromagnetischen Schnellauslösern und Unterspannungsauslöser) sowie einem oder mehreren Auslöserkästen. Die Auslöserkästen enthalten die stromabhängig verzögerten Auslöser für den Überlastungsschutz der einzelnen Motoren.

Schütze ohne Auslöser. Die unverklinkten Motorschutzschalter werden auch ohne Auslöser als einfache Schütze geliefert (siehe S. 400 Bild 60).

Überstromselbstschalter für höhere Stromstärken.

Die Überstromselbstschutzschalter EM mit Wärmeauslöser, Schnellauslösern und einer Reihe möglicher Abänderungen werden zwei- und dreipolig bis 2000 A hergestellt. Diese Schalter sind auch noch als Motorschutzschalter verwendbar. Die EM-Schalter bis 1000 A können gußgekapselt werden. Die Selbstschalter für 2000 A werden auf Wunsch in Blechgehäuse mit Gußtür eingebaut. Sämtliche gekapselten Schalter sind an Gußverteilungen anzubauen. Ab 3000 A werden die Schalter nur mit magnetischen Überstromauslösern, also ohne Bimetallauslöser ausgeführt. Bild 71 zeigt als Beispiel einen dreipoligen Fernschalter (Einschaltmotor) mit Klotzkontakten für 4000 A und Bild 72 einen einpoligen Fernschalter (Einschaltmotor) für 15000 A.

Selbstschalter für besondere Zwecke.

Trennschutzschalter sind mit einer Fehlerspannungsspule (RWE-H. R.) ausgerüstet und dienen zum Schutze gegen gefährliche Berührungsspannung (vergleiche Seite 386, 420). Sie werden für Wechselstrom bis 380 V, 60 A, für Gleichstrom bis 250 V, 25 A geliefert. Es gibt Ausführungen mit Isolierkappe für trockene Räume und mit spritzwasserdichtem Isoliergehäuse für feuchte Räume.

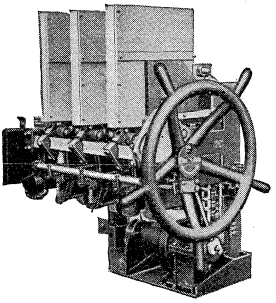


Bild 71. Fernbetätigter Überstrom-Großschalter, Form EMFsa für 4000 A, dreipolig, mit Einschaltmotor.

Stationsschalter (Bild 73) kommen für Netze, in denen die Nullung angewendet wird, in Betracht, wenn bei einem Kurzschluß zwischen einem Außenleiter und dem Nulleiter das Abschmelzen der nächsten vorgeschalteten Sicherung nicht mit Sicherheit zu erwarten ist (Nichterfüllung der Nullungsbedingungen lt. VDE 0140, 11,1). Das Wesentliche bei diesen Schaltern ist ein Wärmeauslöser, der in den Nulleiter geschaltet ist. Die Abschaltung der zu schützenden Leitungsstrecke erfolgt stets allpolig, aber ohne Unterbrechung des Nulleiters. Die Schalter werden nur mit Nulleiterauslöser oder auch zusätzlich mit Überlast- und Kurzschlußschutz geliefert. Da die Nullungsbedingungen ohne Verstärkung des Nulleiters eingehalten werden können, wird bei Verwendung des Schalters Leitungsmaterial erspart.

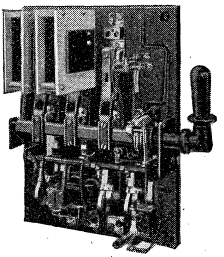


Bild 73. Stationsschalter (RWE—HR), Form Stbkne, mit Auslöser im Nulleiter, ferner mit Wärme-, Schnell- und Fehlerspannungs-Auslösung.

Schnellschalter (Bild 74) sind ausgesprochene Gleichstrom-Überstrom-Selbstschalter mit sehr geringer Eigenzeit, das ist die Zeit vom Beginn des Ansprechens der Überstromauslösung bis zum Beginn der Kontaktöffnung. Sie finden mannigfache Verwendung als Überstrom-Schutzschalter für Generatoren und Einanker-Umformer, verhindern bei Kurzschlüssen die Entstehung von Rundfeuer und außerdem bei Einanker-Umformern das Pendeln und damit das Außertrittfallen der Maschine.

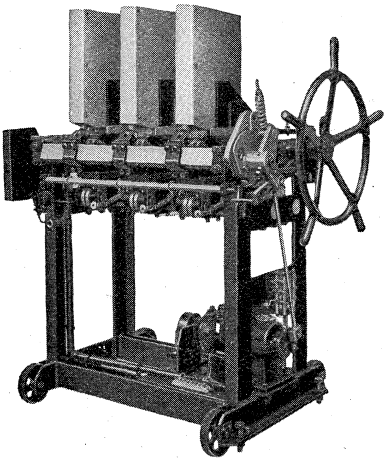


Bild 72. Fernbetätigter Überstrom-Großschalter, Form EMFsa, für 15000 A, einpolig, mit Einschaltmotor.

Als Schutzschalter für Gleichrichter dienen sie zur Vermeidung der schädlichen Auswirkungen von Rückzündungen und Kurzschlüssen. Als Streckenschalter in Bahnanlagen verhindern sie durch die Schnellabschaltung der Streckenkurzschlüsse das Auslösen der Kraftwerk- bzw. Unterwerkschalter und damit die Unterbrechung der Stromlieferung an die übrigen Strecken. Sie erhöhen wesentlich die Lebensdauer der Oberleitungen, weil durch die schnelle Abschaltung nur geringe Wirkungen an der Kurzschlußstelle ausgelöst werden. Bei Kurzschlüssen in Fahrschaltern und Fahrmotoren verhindert die Schnellabschaltung die Entstehung eines Brandes und damit einen unverhältnismäßig großen Schaden.

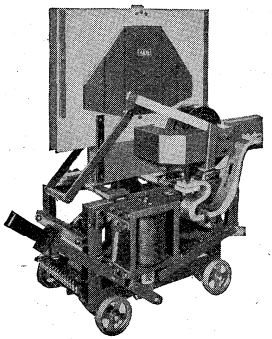


Bild 74. Schnellschalter, Form HUSF, für 10 000 A, mit Einschaltmagnet.

Als Kuppelschalter zwischen selbständig gespeisten Leitungsstrecken vermeiden sie bei einem Kurzschluß auf einer der Leitungsstrecken eine schädliche Auswirkung auf die übrigen.

Maschennetz- oder Rückwattschalter sind in den meisten Fällen in Niederspannungsmaschennetzen erforderlich, die in Versorgungsgebieten hoher Verbrauchsdichte Vorteile gegenüber dem Strahlennetz bieten. Der Maschennetzschalter wird auf der Niederspannungsseite des Umspanners eingebaut und hat in der Hauptsache die Aufgabe, den Speiseumspanner abzuschalten, sobald in seiner Wicklung oder im Hochspannungsspeisekabel ein Fehler auftritt. Nach Abschaltung des Hochspannungsspeisekabels fließt über das vermaschte Niederspannungsnetz weiterhin Strom zur Fehlerstelle, und zwar entgegen der normalen Energierichtung. Auf diese Rückleistung sprechen unverzögerte Energierichtungsrelais an, die als Auslöseorgane in den Maschennetzschaltern eingebaut sind.

Überstromschalter für Kondensatoren. Motorschutzschalter in Luft und Öl können bei entsprechender Einstellung der Überstromauslösung auch als Kondensator-Schutzschalter verwendet werden. Ölschalter unter 40 A sind für Kondensatorschutz nicht üblich. Bei Ölschaltern MSBO über 40 A ist der bei Einschaltung der Kondensatoren auftretende hohe Einschaltstromstoß zu berücksichtigen und der Ölschalter entsprechend reichlich zu wählen. Ferner ist bei Kondensatorbetrieb das vorübergehende Auftreten von Überströmen, bedingt durch Oberwellen in der Spannungskurve, viel häufiger als beim Motorbetrieb. Hierauf ist bei der Einstellung der Überstromauslösung zu achten.

Gekapselte Niederspannungsschaltgeräte für explosionsgefährdete Räume.

Da die neuen „Vorschriften für die Ausführung explosionsgeschützter elektrischer Maschinen, Transformatoren und Geräte“ (VDE 0171) sich zur Zeit der Drucklegung dieses Buches erst im Entwurf befanden, wird im nachstehenden nur auf das Grundsätzliche im Bau von Niederspannungs-Schaltgeräten für explosionsgefährdete Betriebe hingewiesen. Bezüglich der Begriffsbestimmungen wurde auf die Angaben des VDE 0165 und des Entwurfes zu VDE 0171 zurückgegriffen.

Explosionsgefahr liegt vor, wenn sich nach den örtlichen und betrieblichen Verhältnissen Gase, Dämpfe oder Staube, die untereinander oder mit Luft explosionsfähige Gemische bilden, in gefahrdrohender Menge ansammeln können (VDE 0165,3). Die Anordnung von Schaltgeräten und Verteilungsanlagen in explosionsgefährdeten Räumen erfordert daher bei der Planung eine genaue Prüfung der auftretenden Gas- und Dampfluftgemische oder der Staubluftgemische zur Fest-

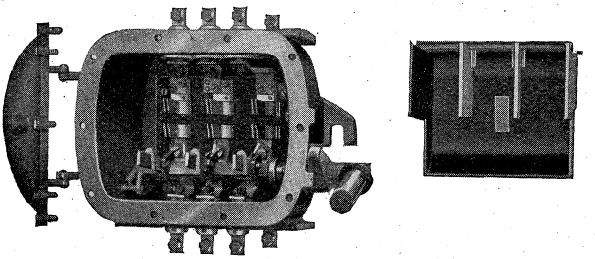


Bild 75. Explosionsgeschützter Schalter ohne Sicherungen für 200 A, Form S/Ex.

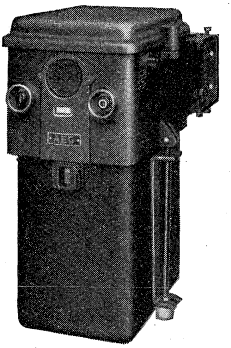


Bild 76.
Explosionsgeschützter Ölschalter MSBO/Ex 125.

stellung der erforderlichen Schutzart (Art der Gase und deren Zündtemperatur).

Als explosionsgeschützte Ausführungen kommen Geräte in druckfester Kapselung, in Ölkapselung oder Geräte normaler Bauform mit erhöhter Sicherheit in Frage.

Die druckfeste Kapselung (Bild 75) besteht in dem Einschluß der gefährdenden Teile in geschlossene Gehäuse, in denen eine Entzündung von explosiblen Gemischen stattfinden kann, bei der der volle Explosionsdruck von dem Gehäuse ausgehalten und eine Übertragung der Zündung auf die das Gehäuse umgebenden explosiblen Gemische verhindert wird.

Die Ölkapselung (Bild 76) besteht in dem Einschluß der gefährdenden Teile in Öl derart, daß explosible Gemische mit ihnen und den an ihnen etwa entstehenden Funken oder Lichtbögen nicht in Berührung kommen können.

An der Vorderseite des Ölkessels ist ein Ölstandsanzeiger angebracht. Der Ölbehälter ist außerdem durch Spezialmuttern gegen unbefugtes Herunterlassen gesichert. Bei den explosionsgeschützten Motorschutz-Ölschaltern wird der Ölschalter beim Absenken des Ölkessels selbsttätig ausgeschaltet. Für die Befestigung des Deckels und der Anschlußstutzen sind Spezialschrauben vorgesehen, die nur mit den zugehörigen Steckschlüsseln geöffnet werden können.

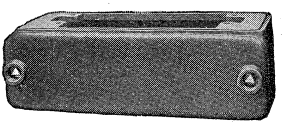


Bild 77. Explosionsgeschützter Anschlußkasten Form ANK/Ex.

Die Bauart „Erhöhte Sicherheit" umfaßt für normale Geräte die Maßnahmen, die dazu bestimmt sind, das Auftreten von Funken, Lichtbögen und gefährlichen Temperaturen an solchen Teilen zu verhindern, an denen diese betriebsmäßig nicht auftreten können (z. B. in Sammelschienenkasten, Klemmenkasten usw.). Hierzu gehört auch die Befestigung von Deckeln und Anschlußstutzen mit besonderen Schrauben, die nur mit Spezialwerkzeugen bedient werden können (Bild 76 und 77).

Bei der Anordnung von Schaltgeräten in explosionsgefährdeten Räumen ist vor allem für eine gute Durchlüftung dieser Räume zu sorgen. Meist lassen sich die Motorschutzschalter sowie die ganze Schaltanlage außerhalb des Gefahrenbereiches anordnen, so daß hierfür Geräte vollkommen normaler Bauart genügen. Für die explosionsgefährdeten Räume selbst werden dann nur die explosionsgeschützten Druckknopfschalter mit Kontakten unter Öl (Bild 78) oder in Luft (Bild 79) benötigt.

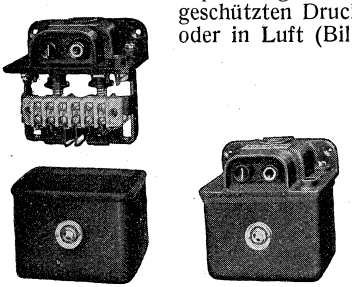


Bild 78.
Explosionsgeschützter Druckknopfschalter mit Kontakten unter Öl, Form Dr 0/Ex.

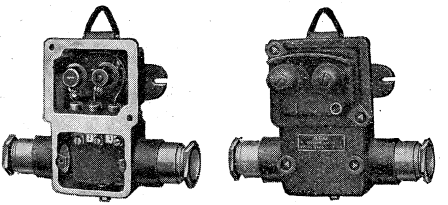


Bild 79.
Explosionsgeschützter Druckknopfschalter mit Kontakten in Luft, Form Dr/Ex.

Schutzmaßnahmen in Verbraucheranlagen.

Durch Schäden in elektrischen Anlagen können der Berührung zugängliche metallene Teile der elektrischen Einrichtung Spannung gegen Erde annehmen (Berührungsspannung). Dieses zu verhindern, ist in erster Linie Aufgabe der Herstellung und des Einbaues der elektrischen Maschinen und Gebrauchsgegenstände sowie Sache der Auswahl der zweckentsprechenden Leitungsart und deren Verlegung. Durch Berührungsspannungen kann eine besondere Gefährdung für die die Anlage bedienenden Personen vor allem dann entstehen, wenn durch Feuchtigkeit, Wärme, chemische Einflüsse und dergleichen der Übergangswiderstand des Menschen zur Erde bei guter Leitfähigkeit des Standortes (z. B. metallenem Fußboden) oder auch unter Erhöhung der an sich schlechten Leitfähigkeit des Standortes (z. B. Beton, Fliesen, Erdboden) wesentlich herabgesetzt wird.

Eine Berührungsspannung tritt z. B. auf, wenn das Gehäuse eines Elektromotors infolge eines Isolationsfehlers Spannung gegen Erde annimmt. Bei Berührung des Gehäuses fließt dann ein Ableitstrom über die berührende Person. Die Leitsätze des VDE für Schutzmaßnahmen in Starkstromanlagen mit Betriebsspannungen unter 1000 V fordern daher in Anlagen mit Spannungen über 65 V bis 250 V gegen Erde zusätzliche Schutzmaßnahmen, wenn die Möglichkeit einer besonderen Gefährdung vorliegt. In Anlagen mit Spannungen über 250 V gegen Erde sind solche Schutzmaßnahmen überall vorgeschrieben.

Als Schutzmaßnahmen kommen in Betracht: Isolierung, Kleinspannung, Erdung, Nullung und Schutzschaltung. Die Auswahl der Schutzmaßnahmen richtet sich nach den jeweiligen Netzverhältnissen; ihre Anwendbarkeit kann durch technische und wirtschaftliche Grenzen beschränkt sein. Nach den Vorschriften für den Betrieb von Starkstromanlagen VDE 0105, § 2c müssen die Schutzeinrichtungen regelmäßigen Nachprüfungen unterzogen und in brauchbarem Zustande erhalten werden.

Ehe auf die einzelnen Schutzarten eingegangen wird, weisen wir ausdrücklich darauf hin, daß es sich hierbei um zusätzliche Maßnahmen handelt, deren Vorhandensein nicht von der Verpflichtung entbindet, Motoren, Geräte und deren Anschlüsse sowie die Leitungsanlage hinsichtlich ihres Isolationszustandes so sorgfältig wie möglich auszuführen, da dies auf die Dauer der beste Schutz gegen das Auftreten von Mängeln ist.

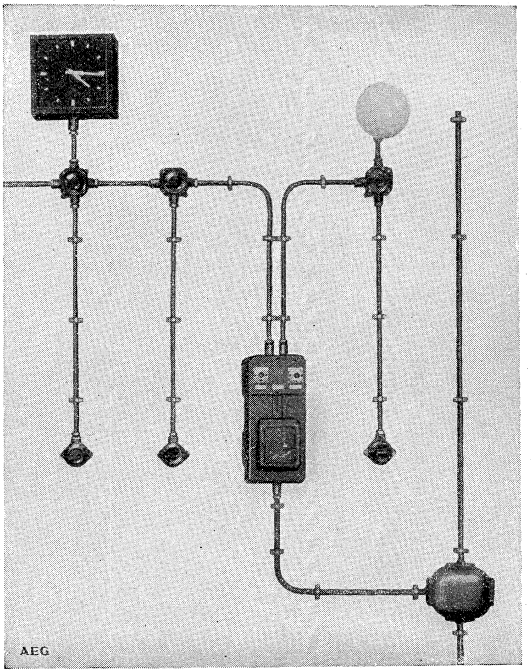


Bild 80. Anlage, bei der die leitfähigen Teile durch Isolierung der Berührung entzogen sind.

Isolierung.

Bei dem Schutz durch Isolierung handelt es sich

nicht um die Isolation spannungführender Anlageteile, sondern um die zusätzliche Umkleidung von leitfähigen Teilen, die im Störungsfall Spannung annehmen können. Schutz durch Isolierung kann erreicht werden entweder durch eine Isolierung des Menschen von metallenen Teilen der elektrischen Anlagen (z. B. durch isolierende Umpressung von Schaltergriffen, Handrädern, Isolierkapselung von Geräten, isolierende Umhüllung von kabelähnlichen Leitungen) oder durch eine Isolierung des Menschen gegen Erde (z. B. durch isolierenden Fußbodenbelag, trockene Holzböden oder Holzroste, isolierende Wände). Isolierung als zuverlässige Schutzmaßnahme setzt eine durch Beanspruchung und Alterung unbeeinflußte Beschaffenheit der Isolation voraus. Der hierdurch bedingten Formgebung sind aus wirtschaftlichen Gründen Grenzen gezogen, die eine vorläufige Beschränkung auf Bauformen kleineren Ausmaßes zweckmäßig machen.

Das Bild 80 zeigt eine Installation, die ausschließlich mit kabelähnlichen Leitungen ausgeführt ist. Die dabei benutzten Schalter, Steckdosen, Lichtdrücker und Verteilungsdosen sind vollkommen von Isolierpreßstoff umgeben und mit Anschlußstutzen für abgedichtete Leitungseinführung ausgerüstet; desgleichen sind die Synchronuhr, die Zählertafel und der Abzweigkasten in Isolierstoff ausgeführt. Aber nicht nur diese fest angebrachten Teile, sondern auch bewegliche Gebrauchsgegenstände, wie z. B. Staubsauger, Handbohrmaschinen usw., werden bereits vielfach in ein Isolierstoffgehäuse eingebaut. Bei den Handbohrmaschinen ist außerdem der elektrische von dem mechanischen Teil durch Zwischenschalten von Isolierstoffritzeln elektrisch getrennt.

Kleinspannung.

Durch die Anwendung von Kleinspannung wird verhindert, daß eine gefährliche Berührungsspannung überhaupt auftritt. Als Schutz dienen Umspanner oder Umformer mit elektrisch voneinander getrennten Wicklungen zur Herabsetzung der Betriebsspannung auf Kleinspannung sowie Akkumulatorenbatterien. Genormte Kleinspannungen sind 24 und 42 V. Der Kleinspannungsstromkreis soll im allgemeinen nur eine beschränkte Ausdehnung haben (z. B. Betrieb von einzelnen oder wenigen Kleinmotoren, Koch- und Heizgeräten, Handleuchten, Spielzeugen oder dgl.) und allpolig mit Installationsmaterial für mindestens 250 V in bezug auf Isolierfestigkeit ausgeführt sein. Die Stecker für Kleinspannungsgeräte dürfen in Steckdosen höherer Spannungen nicht eingeführt werden.

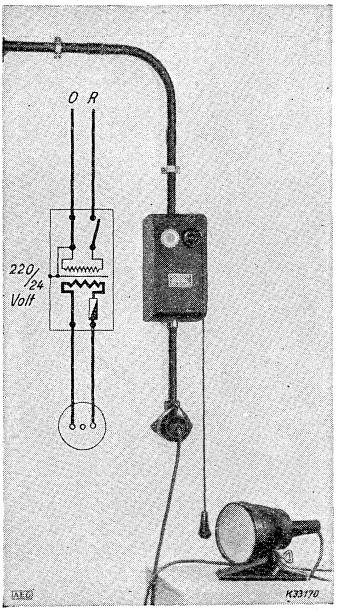


Bild 81. Backofen-Umspanner mit Backofenlampe für 24 V.

Für Handleuchten in Kesseln und ähnlichen engen Räumen wird Kleinspannung bei Wechselstrom gefordert, bei Gleichstrom empfohlen.

Für Instandsetzungs-, Reinigungs- und sonstige Arbeiten in betriebsmäßig eingebauten Kesseln usw. dürfen Elektrowerkzeuge bei Anschluß an Wechselspannung nur verwendet werden

1. wenn sie für Kleinspannungen bis 42 V gebaut sind,
2. wenn sie bei höheren Betriebsspannungen als 42 V, jedoch nicht über 250 V, über einen dem einzelnen Gerät zugeordneten Transformator oder Umformer mit getrennten Wicklungen an das Netz angeschlossen werden.

Der Anschluß eines Backofen-Umspanners mit Backofenlampe für 24 V ist in Bild 81 und eines tragbaren Kleintransformators in Bild 82 dargestellt.

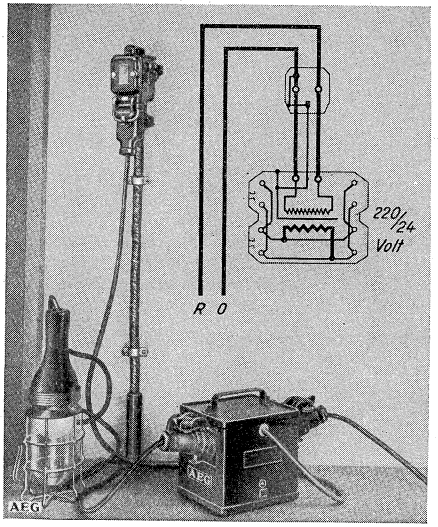


Bild 82. Tragbarer Kleintransformator für Anschluß von einem bis gleichzeitig vier Geräten.

Erdung.

Durch die Schutzerdung soll erreicht werden, daß bei bedenklicher Berührungsspannung die Fehlerstelle selbsttätig von der Stromquelle abgetrennt wird. Dies wird nach VDE 0140 § 8 mit Sicherheit erreicht, wenn bei einem Körperschluß über die Erdungsleitung ein Fehlerstrom vom 2,5 fachen Nennstrom der nächst vorgeschalteten Sicherung (Abschaltstrom) zustande kommt. Wenn dies nicht möglich ist, so soll nach § 9 wenigstens keine höhere Berührungsspannung als 65 V bestehen bleiben können. Das ist der Fall, wenn der Erdungswiderstand

a) in Netzen mit geerdetem Netzpunkt nicht größer ist als

$$\frac{\text{halbe Spannung gegen Erde}}{\text{Abschaltstrom}}$$

wobei vorausgesetzt ist, daß nach § 20 der Widerstand der Betriebserdung (Netzpunkterdung) nicht größer ist als

$$\frac{65\ \text{V}}{\text{Abschaltstromstärke des größten geerdeten Stromverbrauchers,}}$$

b) in Netzen ohne geerdeten Netzpunkt nicht größer ist als

$$\frac{65\ \text{V}}{\text{Abschaltstrom.}}$$

Das Bild 83 stellt als Beispiel ein Leitungssystem von 380 V mit geerdetem Netzpunkt dar. Nach a) darf der Widerstand der Betriebserdung höchstens 65:37,5=1,73 Ohm betragen und der Erdungswiderstand des größeren Motors (Jn = 15 A) 110:37,5 = 2,94 Ohm. Bei Auftreten eines Körperschlusses an diesem Motor kommt dann bei dem Gesamterdungswiderstand von 4,67 Ohm ein Abschaltstrom von 220:4,67=47 A zum Fließen, so daß der erforderliche Wert vom 2,5 fachen des Nennstroms mit Sicherheit erreicht und die vorgeschaltete Sicherung von 15 A binnen kurzer Zeit abschmelzen wird. Auf dieselbe Art ergibt sich für den kleinen Motor (Jn=6 A) der Erdungswiderstand zu 7,35 Ohm und bei dem Gesamterdungswiderstand von 9,08 Ohm der im Falle eines Körperschlusses auftretende Abschaltstrom zu 24,2 A.

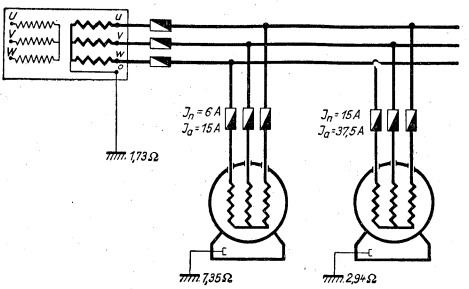


Bild 83. Anwendung der Erdung.

Das vorstehende Beispiel zeigt, daß für Stromverbraucher über 15 A Nennstrom so niedrige Erdungswiderstände erforderlich werden, daß sie aus wirtschaftlichen Gründen im allgemeinen nicht ausführbar sind. Die Erdung mittels Einzelerder kommt daher für diese Stromverbraucher gewöhnlich nicht in Betracht; es sind hier andere Schutzmaßnahmen zu wählen.

Kann das Wasserleitungsnetz zur Erdung verwendet werden, so ist ein genügend geringer Erdungswiderstand leichter zu erreichen.

Werden statt der Sicherungen Motorschutzschalter verwendet, so ist der Auslösestrom des magnetischen Auslösers der Bemessung des Erdungswiderstandes zugrunde zu legen.

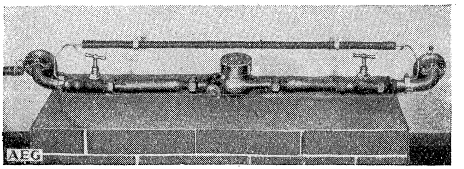


Bild 84. Der Wassermesser ist durch eine Leitung überbrückt.

Die Erdung wird hergestellt durch Anschluß der zu schützenden Teile an besonders zu diesem Zweck in die Erde zu bettende metallene Leiter (Platten, Bänder, Rohre oder dgl.) oder bereits in der Erde liegende Leiter großer Oberfläche (Wasserleitungsnetz oder dgl.). Der Anschluß an die Wasserleitungsrohre hat an gut blankgemachten Stellen durch breite Schellen zu erfolgen.

Wasseruhren sind dabei sorgfältig zu überbrücken (Bild 84). Bei Geräten, die an die Wasserleitung selbst angeschlossen sind, wie z. B. Warmwasserspeicher, erfolgt durch den Rohranschluß selbst schon eine Erdung; aus Gründen der Sicherheit wird man trotzdem einen besonderen Erdleiter verlegen, der zum Hauptwasserrohr führt, da durch die Dichtungen an den Rohranschlußstellen die durchgehende metallene Verbindung nicht immer gewährleistet ist.

Schutzleitungssystem: In begrenzten einheitlichen Anlagen, z. B. in Fabriken mit eigener Stromerzeugung oder eigenem Umspanner mit elektrisch getrennten Wicklungen, kann ein Schutz durch Verbindung aller zu schützenden Anlageteile untereinander sowie mit den der Berührung zugänglichen Gebäudebauteilen, Rohrleitungen und dgl. erreicht werden. Diese Verbindungsleitungen, die das Schutzleitungssystem bilden, sind zu erden. Ist eine Isolationsüberwachung vorhanden, genügt für die Erdung des Schutzleitungssystems ein Erdungswiderstand von 20 bis 30 Ohm, der praktisch mit verhältnismäßig einfachen Mitteln erreichbar ist. Ist die vorstehende Bedingung nicht erfüllt, so darf der Erdungswiderstand den nach VDE 0140 § 9 vorgeschriebenen Wert nicht überschreiten. Wird das Schutzleitungssystem mit einem Netzpunkt verbunden, so müssen die Nullungsbedingungen erfüllt werden.

Die Wirkungsweise der Isolationsüberwachung ist in dem Bild 85 verdeutlicht. Der Sternpunkt des Umspanners wird über eine Durchschlagsicherung an Erde gelegt, und zwei hintereinandergeschaltete Spannungsmesser werden mit dem Sternpunkt des Umspanners und einer Phase verbunden; ihr Verbindungsleiter wird geerdet. Bei Normalzustand zeigen beide Meßgeräte die halbe Phasenspannung an. Das Auftreten von Erdschlüssen wird durch Änderung des Ausschlags der Spannungsmesser angezeigt.

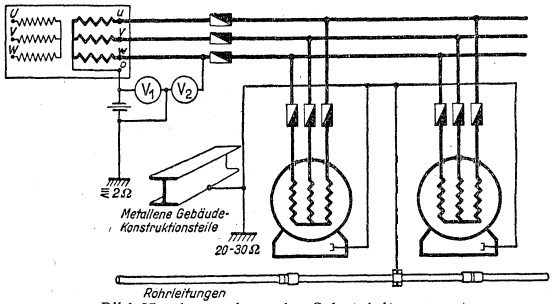


Bild 85. Anwendung des Schutzleitungssystems.

Durch die Nullung soll ebenso wie bei der Schutzerdung erreicht werden, daß bei bedenklicher Berührungsspannung die Fehlerstelle selbsttätig von der Stromquelle abgetrennt wird. Während bei der Erdung die Erde zum Schließen des Stromkreises verwendet wurde, erfolgt dies bei der Nullung über den Nulleiter. Die Nullung kommt daher nur in Verteilungsanlagen mit einem geerdeten Nulleiter in Betracht. Sie wird hergestellt durch den Anschluß der zu schützenden Anlageteile an den geerdeten Nulleiter. Sicherungen dürfen in den Nulleiter nicht eingebaut werden. Bei Anwendung der Nullung als Schutzmaßnahme muß das Leitungsnetz folgenden drei Nullungsbedingungen genügen:

1. Die Leitungsquerschnitte müssen so bemessen sein, daß bei Kurzschluß zwischen einem Außenleiter und dem Nulleiter mindestens der 2,5fache Nennstrom der nächsten vorgeschalteten Stromsicherung zum Fließen kommt. Ist diese Bedingung nicht zu erfüllen, so kann

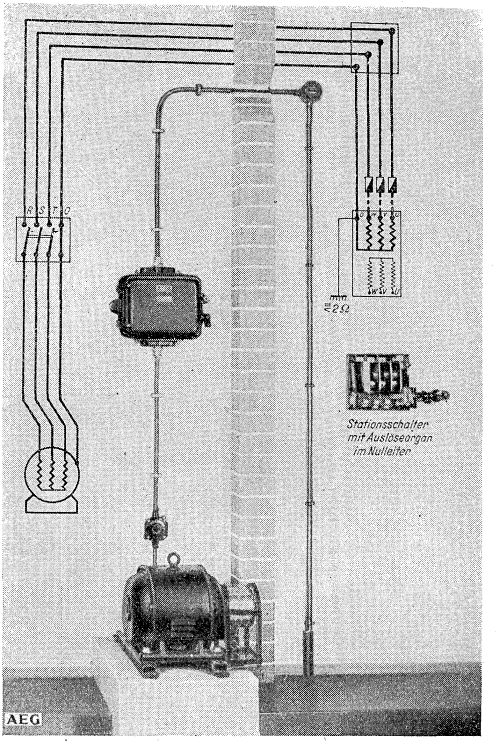
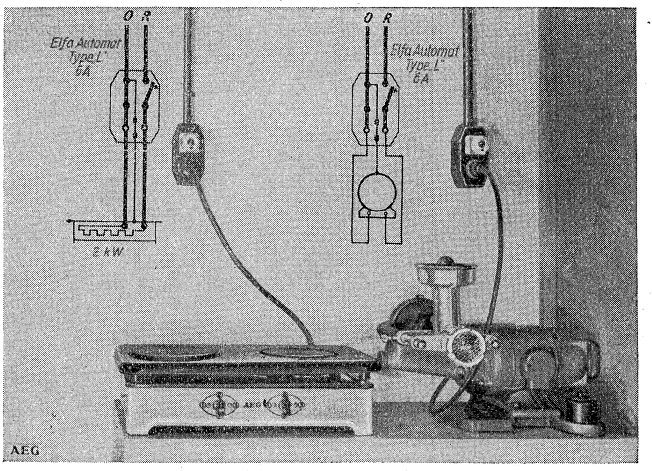


Bild 86. Anwendung der Nullung, Abschaltung erfolgt durch Motorschutzschalter.



auch die Abschaltung durch Einbau eines Schalters erfolgen, dessen Auslöseorgan durch den Nulleiterstrom betätigt wird (Stationsschalter), wobei der Abschaltstrom entsprechend niedriger liegen kann.

Bild 87. Anwendung der Nullung, Abschaltung erfolgt durch Elfa-Automaten.

2. Der Nulleiter muß geerdet sein, und zwar im allgemeinen in der Nähe der Station, in Freileitungsnetzen auch noch mindestens an den Enden der Netzausläufer und bei Installationen im Freien, falls genullt wird, auch an seinem Ende. Sind im Bereich des Stromverteilungsnetzes besonders gute Erder, z. B. Wasserleitungen, vorhanden, so sind diese mit dem Nulleiter zu verbinden.
3. Der Nulleiter muß ebenso sorgfältig wie der Außenleiter verlegt sein. Bewegliche stromführende Nulleiter dürfen nicht zugleich als Schutzleiter verwendet werden.

Der Widerstand der Betriebserdung des Nulleiters darf mit Rücksicht auf den Erdschluß eines Außenleiters nicht größer als 2 Ohm sein. In einem Netz, in dem die Nullung angewendet wird, ist Erdung ohne leitende Verbindung mit dem Nulleiter unzulässig.

Das Bild 86 zeigt die Anlage eines Motors, der über einen Motorschutzschalter angeschlossen ist. Bei Auftreten eines Körperschlusses im Motor ist der Stromkreis über den Nulleiter geschlossen, und der Motorschutzschalter wird ansprechen, sofern die Leiterquerschnitte so bemessen sind, daß der eingestellte Abschaltstrom auftreten kann. Sind die Nullungsbedingungen im Netz, etwa durch nicht ausreichende Bemessung der Leiterquerschnitte, nicht erfüllt, so verwendet man vorteilhaft Stationsschalter, die mit einem Nulleiterauslöser versehen sind. Bei Auftreten eines bestimmten Stromes im Nulleiter spricht der Auslöser an und schaltet dreiphasig ab. Diese Schutzmaßnahme läßt sich mit den einfachsten Mitteln auf alle Geräte ausdehnen.

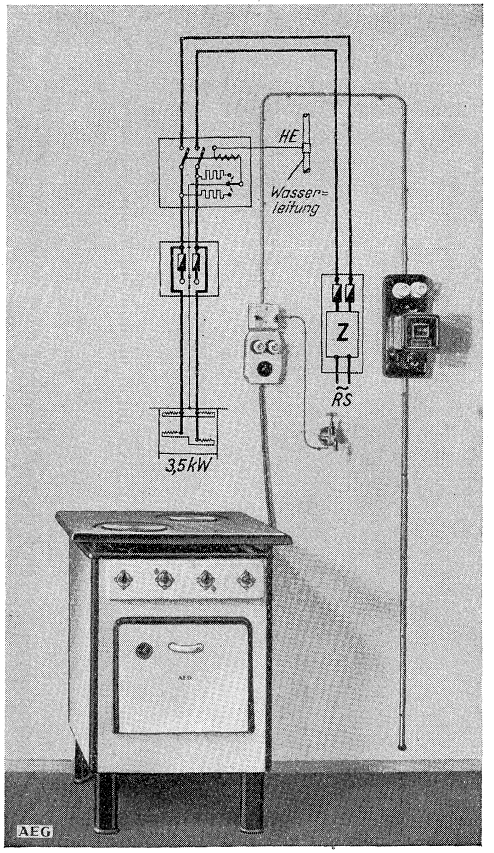


Bild 88. Schutz eines Herdes durch Schutzschaltung.

Die beiden Beispiele (Bild 87) zeigen den einwandfreien Schutz einer Doppelkochplatte und eines Küchenmotors durch Vorschalten je eines Elfa-Automaten, der bei Körperschluß das Gerät abschaltet (vgl. Abschnitt „Elektrische Küche").

Schutzschaltung.

Die Schutzschaltung nach RWE-Heinisch - Riedl ist in gewissem Sinne mit der Schutzerdung verwandt, doch erfolgt die Verbindung des zu schützenden Anlageteiles mit der Erde nicht unmittelbar, sondern über eine Auslösespule. Die von der Fehlerspannungsspule betätigten Schutzschalter sind so gebaut, daß sie bei Auftreten einer zu hohen Berührungsspannung die Stromzuführung in kurzer Zeit allpolig unterbrechen. Die Schutzschalter müssen Freiauslösung haben. Der Schutzleiter ist gegen mechanische Beschädigungen geschützt zu verlegen. Er ist min-

destens vom Anschluß des Gerätes bis zum Schutzschalter, zweckmäßig auch hinter dem Schutzschalter, zu isolieren, um eine Überbrückung der Spule des Schutzschalters und damit ein Aufheben seiner Wirksamkeit zu verhindern. Mehrere durch getrennte Schutzschalter gegen Berührungsspannung gesicherte Metallgehäuse von Motoren, Geräten und dergleichen dürfen nicht leitend miteinander verbunden sein, da sonst bei Auftreten einer zu hohen Berührungsspannung an einem Motor oder Gerät alle Schutzschalter gleichzeitig ansprechen würden.

Der zu schützende Anlageteil wird über die Fehlerspannungsspule des Schutzschalters an eine Hilfserde angeschlossen, so daß bei Auftreten eines Körperschlusses ein Stromkreis von der Hilfserde nach der Betriebserde zustande kommt. Erreicht die Berührungsspannung und damit auch der Ableitstrom einen bestimmten Wert, so wird die Auslösespule ansprechen und den vor dem Anlageteil befindlichen Schalter ausschalten. Bild 88 zeigt, wie ein Herd mit Hilfe eines solchen Fehlerspannungsschalters geschützt wird.

AEG-Elektrozaun

Weidezäune hat man seit jeher möglichst fest gebaut. Trotzdem wurden sie von den Tieren bei dem Versuch, ihre Einzäunung zu durchbrechen, immer wieder beschädigt oder zerstört. Dabei können außerdem die Tiere sich selbst verletzen oder außerhalb des Zaunes Schaden anrichten. Diese Zäune werden verhältnismäßig teuer und benötigen viel Werkstoff an Draht und Holz. Mit dem neuen AEG-Elektrozaun-Gerät ist es möglich, Zäune mit etwa ein Fünftel der bisherigen Kosten zu erstellen.

Wirkungsweise.

Bei dem Elektrozaun wird der blanke Zaundraht isoliert aufgehängt und mit einem Gerät verbunden, das elektrische Spannungsstöße in den Draht schickt. Da der Draht isoliert aufgehängt ist, tritt kein Ableitstrom und praktisch kein Stromverbrauch auf. Da kein Stromfluß auftritt, also kein Spannungsabfall vorhanden ist, bleibt die Spannung über die ganze Drahtlänge die gleiche, gleichgültig, ob ein Draht von 100 m oder mehreren km Länge angeschlossen ist.

Berührt ein Tier den an das Gerät angeschlossenen Zaundraht, so geht der Strom durch seinen Körper zur Erde und von der Erde durch die Erdverbindung in das Gerät zurück. Die Stromrückleitung erfolgt also durch die Erde, ein besonderer Draht ist hierfür nicht erforderlich.

Bei dem Stromdurchgang durch den Tierkörper wird eine für das Tier unangenehme aber harmlose Einwirkung auf die Muskeln erzielt. Diese ist um so stärker, je feuchter der Boden ist. Sie kann am Gerät durch Umschaltung für die erste Zeit der Gewöhnung der Tiere an den Zaun und für sehr trockenen Boden erhöht werden.

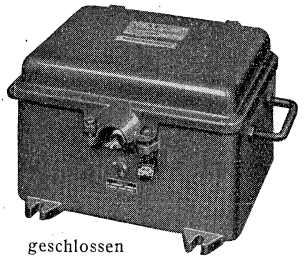
Die Stromstärke ist bei dem AEG-Elektrozaun sicher auf einen so geringen Wert begrenzt, daß eine Einwirkung auf das Herz nicht erfolgen kann. Selbst für hochträchtige Tiere ist der Zaun ungefährlich. Auch kleine Kinder, die mit dem Zaun in Berührung geraten, können nur erschrecken, aber keinerlei Schaden nehmen. Um sogar das Auftreten eines Muskelkrampfes und damit die Gefahr des Hängenbleibens am Zaundraht (vgl. Wirkung der bekannten Elektrisiergeräte) zu verhindern, wird der Strom in der Sekunde dreimal ein- und ausgeschaltet.

Aufbau des AEG-Elektrozaun-Gerätes.

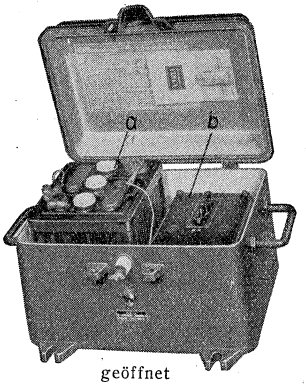
Es gibt zwei Ausführungen des Elektrozaun-Gerätes: das Netz- und das Batterie-Gerät.

Das **Batterie-Gerät** (Bild 89) nimmt den Strom aus einem eingebauten, genormten Bleiakkumulator, wie er in jedem Auto als Licht- und Anlasserbatterie verwendet wird. Das Batteriegerät hat ein sehr kräftiges, regendichtes (Schutzart P 44) und

verschließbares Gußgehäuse mit Traggriffen sowie Anschlußklemmen für Zaun- und Erdleitung.



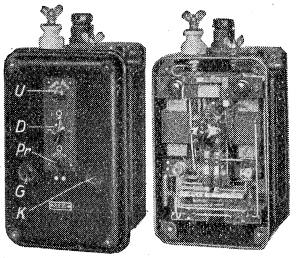
geschlossen



geöffnet

a = Akkumulator
b = Einsatzgerät

Bild 89. Elektrozaun-Batteriegerät.



geschlossen geöffnet

D = Drehschalter
G = Glimmlampe
K = Kurzschlußanzeigelampe
Pr = Prüfknopf
U = Spannungs-Umschalter

Bild 90. Elektrozaun-Netzgerät.

Eingebaut ist neben dem Bleiakkumulator ein plombiertes Isoliergehäuse, das alle Teile enthält, die dazu dienen, die richtige Spannungshöhe zu erzeugen und stoßweise in den Zaun zu schicken, den Strom sicher auf einen ungefährlichen Wert zu begrenzen, Störungen in Rundfunkanlagen zu verhindern und Blitzschläge, die in der Nähe des Elektrozauns niedergehen, für das Gerät unschädlich zu machen, ferner: einen Drehschalter, zwei Sicherungen, einen Umschalter für die Höhe der Zaunspannung, eine Prüflampe, eine Kurzschlußanzeigelampe und eine Prüftaste (vgl. Schaltbild 91).

Den Bleiakkumulator kann man mit dem Lade-(Trocken)-Gleichrichter, Form TBW 6/3a2, schnell und schonend aus dem Wechselstromnetz aufladen. Die Kosten für eine solche Aufladung, die etwa alle 4 Wochen erfolgen soll, sind niedriger als der Preis einer Kilowattstunde! In das Metallgehäuse des Ladegerätes sind eingebaut: ein Transformator mit getrennten Wicklungen, ein Gleichrichter-Ventilsystem und eine Gleichstromsicherung. Das Gerät ist für den Anschluß an 110...120 und 220...230 V (umklemmbar) ausgelegt.

Das **Netzgerät** (Abb. 90) nimmt den Strom aus einer Wechselstrom-Lichtleitung. Es kann also nur dort verwendet werden, wo eine solche vorhanden ist. Dieses Gerät stellt die einfachste Ausführung dar und hat ein kräftiges, vollkommen dichtes (Schutzart P 44) Isoliergehäuse mit Anschlußklemmen für Zaun-, Erd- und Netzzuleitung, sowie einer Stopfbuchsenverschraubung (Pg 11) an der Netzeinführungsstelle. Gegen Mehrpreis wird das Gerät auch mit Gummischlauchleitung und Stecker für den Anschluß an eine Steckdose geliefert. Der Verbrauch beträgt etwa 1,7 W. Statt des Akkumulators sind bei dem Netzgerät ein zweiter Umspanner mit getrennten Wicklungen und ein Trockengleichrichter in das Isoliergehäuse eingebaut. Alle übrigen Teile sind die gleichen wie bei dem Batteriegerät (s. oben). Das Netzgerät ist für den Anschluß an 220 V Wechselstrom ausgelegt. Für andere Spannungen gegen Mehrpreis.

Aufbau des Zauns.

Der Zaundraht (vgl. Bilder 92 und 93) darf keine stromleitende Verbindung zur Erde haben. Er wird daher über Isolatoren (i) gelegt. Diese werden an schwache Pfähle unter Verwendung einer Unterlegscheibe angenagelt oder angeschraubt. Der Draht soll in Schnauzenhöhe (etwa $^2/_3$...$^3/_4$ Schulterhöhe) gespannt werden. Bei der Einzäunung verschieden großer Tiere sind gegebenenfalls mehrere Drähte zu nehmen, sonst genügt ein Draht (gewöhnlicher Koppeldraht).

An den Anfangs-, End-, Eck- und Torpfählen wird der Zaundraht durch ein Abspannei (a) abgefangen.

Die Tore, die früher viel Arbeit und Material erforderten, werden auf einfachste und billigste Weise hergestellt (Bild 94). Am Ende des Tordrahtes wird ein isolierter Griff (h) angebracht, der in eine Drahtschlaufe eingehängt wird. Um den Tordraht gespannt zu halten, kann eine Feder (f) eingeschaltet werden, doch ist diese nicht unbedingt erforderlich (Bild 92).

Mit Hilfe von zwei längeren Stangen können auch Wege leicht überbrückt werden, ohne sie zu sperren.

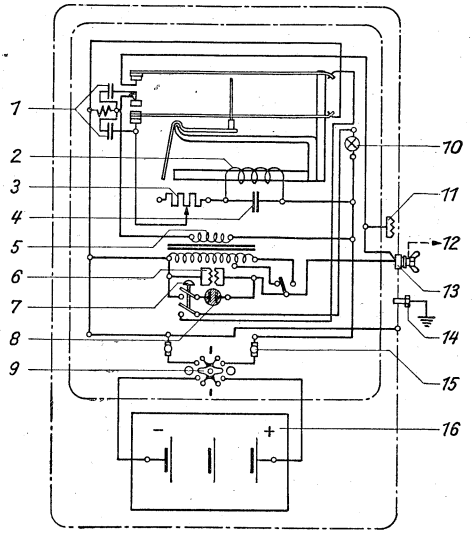
Der fertige Zaun wird durch einen Draht mit dem Zaungerät verbunden. Von der zweiten Klemme wird eine Verbindung zur Erde geschaffen. Zu diesem Zweck wird ein Erdspieß, ein Eisenrohr oder dgl. so tief in den Boden getrieben, daß das untere Ende zum Grundwasser reicht. Am oberen Ende wird mittels einer Schelle (s) der Erdleitungsdraht befestigt.

Das einwandfreie Arbeiten kann am Zaungerät durch eine Prüflampe und Prüftaste jederzeit festgestellt werden. An dem Zaun selbst genügt eine Berührung. Wem der ungefährliche elektrische Schlag unangenehm ist, der kann den kleinen Zaunprüfer (in Größe und Form eines Füllfederhalters) verwenden. Er wird mit der Metallspitze an den Zaundraht gehalten. Die eingebaute Glimmlampe zeigt dann das einwandfreie Arbeiten an.

Vorteile des AEG-Elektrozauns.

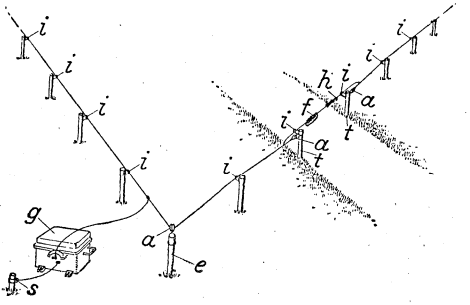
Alle Tiere vermeiden nach dem ersten Bekanntwerden, das zweckmäßig durch eine regelrechte Schulung vorbereitet wird, mit dem neuen Zaun sorgfältig jede Berührung. Er bietet somit dem Drängen am Zaun, dem Hinüberreichen und dem Überspringen Einhalt. Daher sind keine Zaunreparaturen mehr nötig.

Da der Zaun auf Festigkeit nicht mehr beansprucht wird, genügen leichte Pfähle von 4...5 cm Durch-



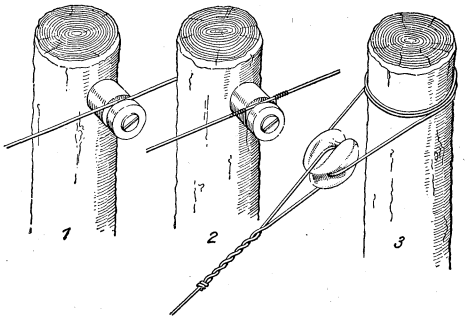
1 = Störschutz-Kondensator
2 = Schneidanker-Relais
3 = Widerstand
4 = Kondensator
5 = Umspanner
6 = Funkenstrecke
7 = Prüftaste
8 = Glimmlampe
9 = Drehschalter
10 = Kurzschlußanzeigelampe
11 = Grobfunkenstrecke
12 = Zaunanschlußklemme
13 = Isolator
14 = Erdanschlußklemme
15 = Sicherung
16 = Batterie

Bild 91. Schaltbild des Elektrozauns (Batteriegerät).



a = Abspann-Ei
e = Eckpfahl
f = Feder
g = Gerät
h = Haken für das Tor
i = Isolatoren
s = Schelle des Erdanschlusses
t = Torpfähle

Bild 92. Aufbau des Zauns



1 = nur für dünne, nicht straff gespannte Drähte
2 = normale Befestigung
3 = Abfangen des Zaundrahtes an einem End- oder Torpfahl durch ein Abspann-Ei

Bild 93. Isolierung des Zaundrahtes.

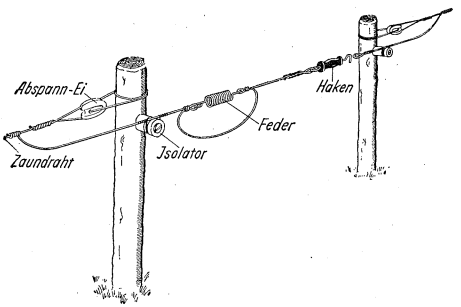


Bild 94. Ausführung eines Tores.

messer in größeren Abständen und ein dünner Draht. Tore sind äußerst einfach anzubringen. Sie kosten fast nichts.

Bewegliche Zäune sind leicht auszuführen. Die Zäune können im Herbst abgenommen und damit geschont, aber auch z. T. im Winter für andere Zwecke verwendet werden.

Der AEG-Elektrozaun wird mit besonderem Vorteil für Wechselweiden verwendet und macht an vielen Stellen das Einzäunen der Tiere überhaupt erst möglich, so z. B. in Überschwemmungsgebieten, in denen feste Zäune nicht erstellt werden dürfen, oder in Gebirgsgegenden, in denen feste Zäune im Winter vom Schnee weggedrückt würden.

Weitere Anwendungsgebiete sind das Einzäunen von Wildgehegen, der Schutz viel befahrener Straßen gegen das Überwechseln von Wild, der Schutz gegen Wildschaden bei besonders gefährdeten Feldfrüchten, z. B. Mais, Kartoffelmieten usw.

MESSGERÄTE

UND

MESSUNGEN

A. Allgemeines.

Meßgeräte sind unerläßliche Hilfsmittel zur Überwachung elektrischer Betriebe. In Stromerzeugungsanlagen ist die Messung des erzeugten Stromes sowie der Spannung dauernd erforderlich, es empfiehlt sich aber, auch in Stromverbrauchs- oder Umwandlungsanlagen die jeweilige Belastung zu beobachten.

Es hängt von der Größe der Anlage und den Kosten ab, ob es sich lohnt, anzeigende oder schreibende Meßgeräte fest einzubauen, oder ob man sich damit begnügen kann, bei der Inbetriebnahme und in regelmäßigen Zeitabständen mittels tragbarer Meßgeräte den ordnungsgemäßen Betriebszustand zu überwachen.

In vielen Fällen werden diese Messungen es ermöglichen, die Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit zu steigern, und die verwendeten Geräte machen sich bereits nach kurzer Zeit bezahlt.

Es werden gemessen:

1. Die Stromstärke in Ampere (A).
2. Die Spannung in Volt (V).
3. Die Wirkleistung in Kilowatt (kW).
4. Die Blindleistung in Blindkilowatt (kVar).
5. Der Leistungsfaktor als Cosinus des Verschiebungswinkels ($\cos \varphi$)
6. Die Frequenz in Hertz (Hz).
7. Der Isolationswiderstand in Megohm (MΩ).
8. Die Arbeit in Kilowattstunden (kWh).

Es ist üblich, das Vielfache oder Bruchteile dieser Grundgrößen durch bestimmte Buchstaben zu benennen und so die Kennzeichnung zu vereinfachen.

Es bedeuten vor dem Größenzeichen:

ein „k“ (Kilo) = 1000 mal Meßgröße,
„M“ (Mega) = 1 000 000 mal Meßgröße,
„m“ (Milli) = $^1/_{1000}$ mal Meßgröße,
„μ“ (Mikro) = $^1/_{1\,000\,000}$ mal Meßgröße.

Es sind z. B.:

1 mV (Millivolt) = $^1/_{1000}$ V,
1 μA (Mikroampere) = $^1/_{1\,000\,000}$ A,
1 MΩ (Megohm) = 1 000 000 Ω,
1 kV (Kilovolt) = 1000 V.

In elektrischen Licht- und Kraftanlagen wird man sich auf die Beobachtung der Spannung, des Stromes und der Wirkleistung beschränken. Ferner muß in der Regel der Verbrauch in Kilowattstunden laufend festgelegt werden.

Auch spielt die Messung des Isolationswiderstandes eine besondere Rolle, da er ein Maß für den Gesamtzustand der Anlage, besonders des Leitungsnetzes darstellt.

Die Messungen zu 1 bis 4, 6 und 7 werden in der Regel durch dauernd eingeschaltete Meßgeräte bewirkt. Die Messung zu 4 wird außerdem auch durch Messung des Leistungsfaktors vorgenommen, wobei nur das Verhältnis der Wirkleistung zur Scheinleistung festgestellt und hierdurch mittelbar das Maß der Blindleistung angegeben wird (siehe Seite 432). Die Messung des Isolationswiderstandes zu 7 wird meist durch vorübergehend angeschlossene Prüfgeräte ausgeführt, während für die Messung der Arbeit zu 8 Zähler verwendet werden. Im Gegensatz zu letzteren bezeichnet man die Geräte für die Messungen 1 bis 7 als eigentliche Meßgeräte.

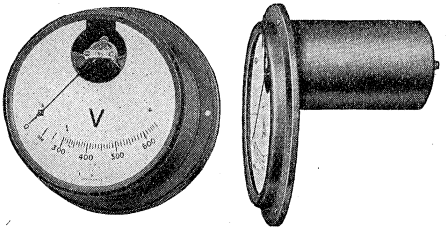


Bild 1. Schalttafelmeßgerät in runder Form.

Mit Ausnahme der Frequenzmesser, bei welchen schwingende Zungen die Ablesung vermitteln, machen alle eigentlichen Meßgeräte ihre Angaben, indem ein schwingender Zeiger auf

einer Skalenteilung spielt; die Zähler dagegen haben Zählwerke mit springenden Ziffern, so daß nur das Ergebnis der Zählung, d. h. die Summe der Arbeit bis zum Augenblick der Ablesung, erkennbar ist. Daneben können die gebräuchlichen Meßgeräte auch als schreibende Geräte ausgeführt werden, wobei der Zeiger seine jeweilige Lage auf einem Papierstreifen aufzeichnet, so daß beim Abrollen des durch ein Uhrwerk bewegten Papierstreifens eine Kurve entsteht, welche den Verlauf der zu messenden Größe wiedergibt.

Nach dem vorher Gesagten kommen für elektrische Licht- und Kraftanlagen im wesentlichen folgende Meßgerätegruppen in Betracht:

Anzeigende Schalttafel-Meßgeräte,
Schreibende Schalttafel-Meßgeräte,
Meßwandler,
Tragbare Betriebsmeßgeräte.

B. Anzeigende Schalttafel-Meßgeräte.

Die **runde Form** ist die gebräuchlichste für Schalttafel-Meßgeräte. Sie werden in hoherForm für Schalttafel-Aufbau, in flacher Form für Schalttafel-Einbau hergestellt (Bild 1), beide für rückseitige Anschlüsse. Über den Einbau in Schalttafeln sowie andere hierfür geeignete Bauformen s. unter Schalttafelmeßgeräte S. 130.

I. Strommessungen.

Strommessungen bei **Gleich- und Wechselstrom** werden in der Regel mit Geräten mit Dreheisenmeßwerk durchgeführt.

Weicheisenmeßgeräte. Der Aufbau des Dreheisenmeßwerkes ist aus Bild 2 ersichtlich. In einer vom Meßstrom durchflossenen Spule sind zwei Weicheisenkörper angeordnet, der eine fest, der andere drehbar mit der Zeigerachse. Durch die in der Spule erzeugten Kraftlinien werden beide Plättchen gleichartig magnetisiert und stoßen einander ab. Dadurch entsteht ein Drehmoment, welches die Systemachse mit dem beweglichen Eisen so lange dreht, bis durch eine Spiralfeder ein Gegendrehmoment gleicher Größe erreicht wird. Durch eine Luftkammerdämpfung wird eine nahezu überschwingungsfreie Zeigereinstellung erreicht, d. h. der Zeiger schwingt beim Einschalten nur wenig über den Meßwert hinaus und stellt sich ohne weiteres Pendeln ein.

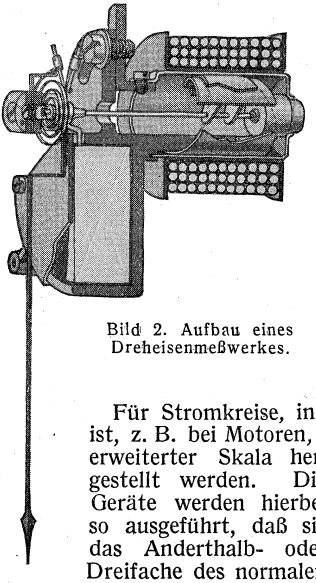


Bild 2. Aufbau eines Dreheisenmeßwerkes.

Die Skala ist beim Dreheisenstrommesser im Anfangsbereich so zusammengedrängt, daß die Ablesbarkeit erst bei etwa $^1/_{10}$ des Skalenendwertes beginnt (Bild 3).

Für Stromkreise, in denen mit kurzzeitigen Überlastungen zu rechnen ist, z. B. bei Motoren, Lichtbogenöfen usw., können die Strommesser mit erweiterter Skala hergestellt werden. Die Geräte werden hierbei so ausgeführt, daß sie das Anderthalb- oder Dreifache des normalen Stromes auf der Skala, welche im Überlastungsteil sehr zusammengezogen ist, zur Ablesung bringen.

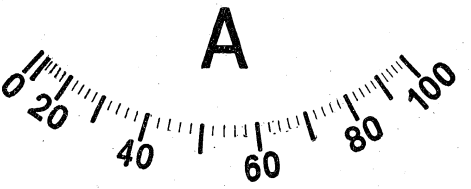


Bild 3. Skala eines Weicheisenstrommessers.

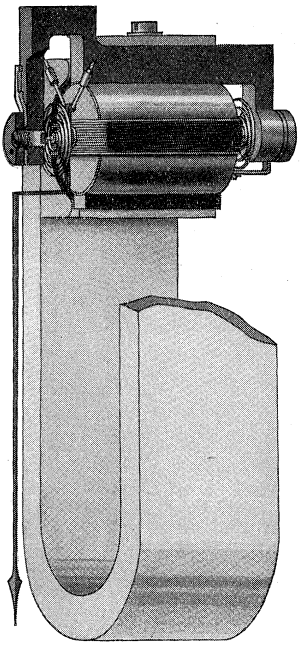


Bild 4.
Aufbau eines Drehspulmeßwerkes.

Dauerbelastung ist nur im Nennbereich zulässig, dagegen halten die Strommesser für 1 Sekunde das 50 fache ihres Nennstromes aus.

Die Dreheisenstrommesser werden bis 400 A für unmittelbare Einschaltung in den Kreis des zu messenden Stromes hergestellt. Für größere Stromstärken werden bei Wechselstrom Dreheisengeräte für 5 A verwendet, die an Stromwandler angeschlossen werden. Die Strommesser werden dann entsprechend der tatsächlich zu messenden Stromstärke geeicht.

Drehspulmeßgeräte (nur für Gleichstrom) werden für größere Stromstärken und dort verwendet, wo eine gleichmäßig unterteilte Skala gefordert wird.

Der Aufbau eines **Drehspul-Meßwerkes** ist aus Bild 4 ersichtlich. Die zylindrisch ausgedrehten Polschuhe eines kräftigen Stahlmagneten umschließen konzentrisch einen Eisenzylinder, wodurch ein Luftspalt gebildet wird, in dem ein konstantes Magnetfeld gleicher Dichte entsteht. In diesem Luftspalt ist eine auf einem Aluminiumrahmen gewickelte Spule drehbar angeordnet. Fließt ein Meßstrom durch die Spule, so entsteht ein diesem Strom verhältnisgleiches Drehmoment. Die Spule wird so weit gedreht, bis ein durch zwei Spiralfedern erzeugtes Gegendrehmoment gleicher Größe erreicht ist. Die Spiralfedern dienen gleichzeitig dazu, der Drehspule den Meßstrom zuzuführen. Durch die in dem Aluminiumrahmen der Drehspule bei der Bewegung erzeugten Wirbelströme wird die Dämpfung erzielt. Die Einstellung des Zeigers erfolgt nahezu überschwingungsfrei.

Die Skala ist bei Drehspul-Meßgeräten gleichmäßig unterteilt (Bild 5), so daß sie auch für kleinere Stromstärken verwendet werden, wenn über die ganze Skala eine genaue Ablesung verlangt wird. Drehspul-Strommesser werden in einigen Ausführungsformen zur unmittelbaren Einschaltung in den Stromkreis hergestellt. Für größere Stromstärken kommen getrennte Nebenwiderstände mit einem Spannungsabfall von in der Regel 60 mV in Betracht. Der Drehspul-Strommesser ist dann nichts anderes als ein Millivoltmeter, das den an den Spannungsklemmen des Nebenwiderstandes auftretenden Spannungsabfall mißt. Beim Einbau dieser ist daher unbedingt zu beachten, daß nur der Nebenwiderstand in die stromführende Leitung geschaltet und der Strommesser selbst an die Spannungsklemmen des Nebenwiderstandes gelegt wird. Die Eichung des Drehspul-Strommessers erfolgt stets unter Berücksichtigung der 2 m langen Meßleitungen, die mitgeliefert werden und unter keinen Umständen gekürzt oder durch andere beliebige Leitungen ersetzt werden dürfen.

Die Strommesser können auch eine Skala mit Nullpunkt in der Mitte erhalten. Diese Ausführung wird besonders in Akkumulatorenanlagen zur Feststellung des Lade- und Entladestromes, sowie in Dreileiteranlagen zur Messung des Nulleiterstromes verwendet.

Tragbare Strommesser siehe S. 443.

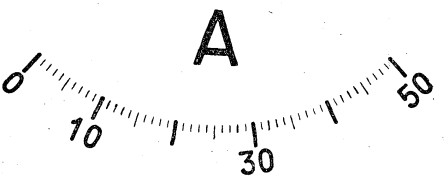


Bild 5. Skala eines Drehspul-Strommessers.

II. Spannungsmessungen.

Spannungsmessungen bei **Gleich- und Wechselstrom** werden in der Regel mit den unter I. beschriebenen **Dreheisen-Meßgeräten** ausgeführt. Sie unterscheiden sich von den Strommessern lediglich durch den Aufbau der die Kraftlinien erzeugenden Spule und durch die Schaltung des Gerätes in den Meßkreis. Beim Strommesser hat die Spule nur wenige Windungen starken Drahtes und wird von dem gesamten Meßstrom durchflossen. Beim Spannungsmesser besteht die Spule aus vielen Windungen dünnen Drahtes. Das Gerät wird so angeschlossen, daß von dem gesamten Strom des elektrischen Kreises infolge des hohen ohmschen Widerstandes der Meßgerätespule nur ein kleiner Meßstrom abgezweigt wird (Schaltbild siehe Seite 140). Da der Spulenwiderstand unveränderlich ist, hängt die Größe des fließenden Teilstromes und damit der Zeigerausschlag des Meßgerätes von der anliegenden Spannung ab.

Die Skala ist auch beim Dreheisenspannungsmesser im Anfangsbereich zusammengedrängt. Die Ablesbarkeit beginnt bei einem Fünftel des Skalenendwertes (Bild 6).

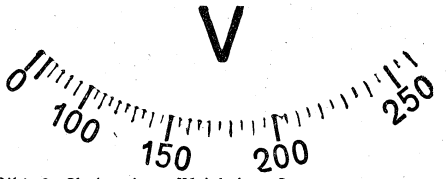


Bild 6. Skala eines Weicheisen-Spannungsmessers.

Bei Spannungsmessern ist es zweckmäßig, als Skalenendwert eine Größe zu wählen, die etwa 20% über der zu messenden Höchstspannung liegt. Für besondere Fälle, in denen die Spannung innerhalb eines kleinen Bereiches besonders genau abgelesen werden soll, kann der Anfangsbereich unterdrückt werden. Die Unterdrükkung ist bis zu 50% des Endwertes möglich. Dreheisen-Spannungsmesser werden in der Regel bis 650 V für unmittelbaren Anschluß ausgeführt. Für höhere Wechselstromspannungen verwendet man Meßgeräte mit dem Meßbereich 0 bis 100 V und Spannungswandler. Die Spannungsmesser werden dann entsprechend der primären Nennspannung des Wandlers geeicht. Näheres über Spannungswandler siehe unter Meßwandler.

Für **Gleichstrom-Spannungsmessungen** können auch **Drehspulgeräte** verwendet werden, deren Aufbau unter I. beschrieben ist.

In Fällen, wo es lediglich darauf ankommt, eine nahezu gleichbleibende Spannung zu überwachen, hat das Dreheisengerät den Vorteil, daß die Skaleneinteilung im letzten Drittel infolge der Zusammendrängung im Anfangsbereich, besonders weit und klar ist. Infolgedessen lassen sich hier die Meßwerte besonders gut ablesen.

Will man jedoch Spannungswerte von Null bis zum Skalenendwert messen und ist hierbei eine gleichmäßige Skaleneinteilung erwünscht, so kommt das Meßgerät mit Drehspul-Meßwerk in Betracht (Bild 7).

Über die Wahl des Spulenendwertes, sowie die Unterdrückung des Anfangsbereiches gilt das oben bei den Dreheisengeräten Gesagte.

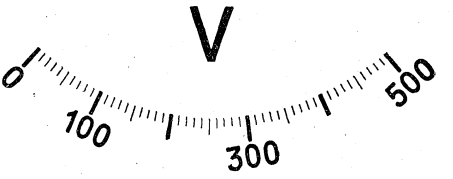


Bild 7. Skala eines Drehspul-Spannungsmessers.

Drehspul-Spannungsmesser werden bis 650 V zum unmittelbaren Anschluß, darüber hinaus mit besonderem Vorwiderstand geliefert.

Die Geräte können mit Nullpunkt in der Mitte der Skala hergestellt werden.

Tragbare Spannungsmesser siehe Seite 443.

III. Leistungsmessungen.

Während Leistungsmesser in Gleichstromanlagen nicht erforderlich sind, da sich die Leistung aus dem Produkt von Stromstärke und Spannung ohne weiteres ergibt, ist ihre Verwendung in Wechsel- und Drehstromanlagen wegen der zwischen Stromstärke und Spannung in der Regel bestehenden Phasenverschiebung nicht zu umgehen. Bei induktionsfreier Belastung, wie z. B. durch Glühlampen, wird zwar keine Phasenverschiebung hervorgerufen, d. h. es verläuft Strom und Spannung in gleicher Phase, so daß der volle in den Leitungen fließende Strom wirksam ist. Sobald jedoch induktive Belastung, z. B. durch Motoren, auftritt, wird der Strom nacheilend gegen die Spannung verschoben. Es wirkt dann nicht mehr die volle Stromstärke, sondern nur noch die mit der Spannung in gleicher Phase verlaufende Komponente, welche sich durch Multiplikation mit dem Leistungsfaktor $\cos\varphi$ ergibt. Ausführliche Erläuterung des Leistungsfaktors siehe nachstehend Seite 432.

Die von dem Leistungsmesser (Wattmeter) zu messende Wirkleistung stellen folgende Gleichungen dar:

für Einphasenstrom ist $N = E \cdot J \cdot \cos\varphi$

für Drehstrom $N = \sqrt{3} \cdot E \cdot J \cdot \cos\varphi$

Leistungsmessungen werden heute allgemein mit Hilfe des ferrodynamischen Meßwerkes durchgeführt.

Ferrodynamische Meßgeräte sind eisengeschlossene Elektrodynamometer. Der Aufbau eines solchen Meßwerkes ist aus Bild 8 ersichtlich. Die wirksamen Kraftfelder werden im wesentlichen durch Eisen geführt. Infolgedessen ist das Meßergebnis von äußeren Einflüssen in weitem Ausmaß unabhängig, und es entstehen verhältnismäßig hohe Drehkräfte.



Bild 8. Aufbau eines ferrodynamischen Meßwerkes.

Ein Eisenrückschlußring umschließt konzentrisch einen Eisenzylinder, so daß ein ringförmiger Luftspalt entsteht. Der Eisenrückschlußring trägt eine feststehende Spule, durch die ein dem Strom verhältnisgleicher Meßstrom fließt. Es entsteht ein Magnetfeld, dessen Dichte ebenfalls dem Strom verhältnisgleich ist. In dem ringförmigen Luftspalt ist eine rahmenförmige Spule drehbar angeordnet, durch die ein der Spannung verhältnisgleicher Meßstrom fließt. Es entsteht somit ein Drehmoment, das der zu messenden Leistung entspricht. Die Spule wird so weit gedreht, bis ein durch zwei Spiralfedern erzeugtes Gegendrehmoment gleicher Größe erreicht ist. Die Federn dienen gleichzeitig dazu, der Spule den Meßstrom zuzuführen.

Durch eine Luftkammerdämpfung wird eine nahezu überschwingungsfreie Zeigereinstellung erreicht.

Die Skala ist bei ferrodynamischen Leistungsmessern gleichmäßig unterteilt (Bild 9).

Für die Ausführung der Skala sind bei Leistungsmessern nachstehende Angaben erforderlich:

Skalenendwert,
größte Stromstärke,
verkettete Spannung,
Leistungsfaktor,
Übersetzungsverhältnis der Meßwandler,
Frequenz.

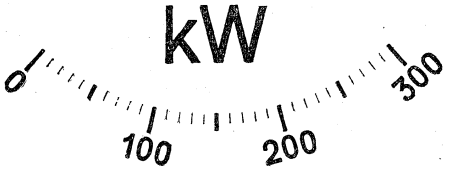


Bild 9. Skala eines ferrodynamischen Leistungsmessers.

Es ist zweckmäßig, für den Skalenendwert eine Leistung zu wählen, die etwa 10% über der zu messenden Höchstleistung liegt.

Die ferrodynamischen Leistungsmesser werden sowohl für Einphasen-Wechselstrom als auch für Drehstrom mit **gleich- oder beliebig belasteten** Phasen ausgeführt, und zwar für Ströme bis 5 A und Spannungen bis 650 V. Für größere Stromstärken und höhere Spannungen erfolgt der Anschluß an Meßwandler. Hierbei erhalten die Meßgeräte eine den Übersetzungsverhältnissen der Wandler entsprechende Skala.

Um die Wirkleistung bei Einphasenwechselstrom zu ermitteln, ist die Stromspule des einphasigen Leistungsmessers in eine der beiden Leitungen zu schalten und die Spannungsspule an beide Leiter zu legen (Schaltbild siehe Seite 140). Um die Gesamt-Wirkleistung bei Drehstrom **gleicher** Phasenbelastung und bei irgendeiner Phasenverschiebung zu messen, wird ebenfalls ein einphasiger Leistungsmesser verwendet. Hierbei ist die Schaltung so auszuführen, daß das Meßgerät die Leistung einer Phase mißt. Die Skala ist jedoch so beziffert, daß die Gesamtleistung der drei Phasen, also die Drehstromleistung unmittelbar abgelesen werden kann. Diese Schaltung verlangt einen zugänglichen Nullpunkt oder einen zugänglichen Nulleiter, ist also bei Sternschaltung ohne weiteres anwendbar (Schaltbild siehe Seite 141). Bei unzugänglichem Nullpunkt sowie bei Dreieckschaltung muß mit Hilfe eines dreiteiligen Widerstandes —eines sogenannten Nullpunkt-Widerstandes — ein künstlicher Nullpunkt geschaffen werden (Schaltbild siehe Seite 141). Beim Anschluß des Meßgerätes ist darauf zu achten, daß die Spannungsspule nicht an zwei Phasenleitungen, sondern stets an den Nullpunkt und diejenigen Leitungen gelegt wird, in welche die Stromspule geschaltet ist.

Ist der Nullpunkt nicht zugänglich und auch die Bildung eines solchen mangels eines Nullpunkt-Widerstandes nicht möglich, so kann ein Wechselstrom-Leistungsmesser für Messungen in Drehstromanlagen mit gleicher Phasenbelastung nur bei induktionsfreier Belastung verwendet werden. Hierbei ist die Spannungsspule des Gerätes an diejenige Phase, in der die Stromspule liegt, und an eine der beiden anderen Phasen anzuschließen. Um die Gesamtleistung zu erhalten, ist die Angabe des Leistungsmessers mit 2 zu multiplizieren. Für induktive Belastung dagegen ist bei unzugänglichem Nullpunkt die Feststellung des Leistungsverbrauches mit nur einem Wechselstrom-Leistungsmesser nicht möglich.

In Drehstromanlagen mit **ungleicher** Phasenbelastung kann die Leistungsmessung entweder mit zwei Wechselstrom-Leistungsmessern oder einem Drehstrom-Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen erfolgen. Im ersten Fall werden die beiden Geräte nach der Zweiwattmeter-Methode angeschlossen. Die Spannungsspule jedes Leistungsmessers ist also zwischen die Leitung, in der die Stromspule liegt, und die freie dritte Leitung zu schalten. Durch Addition der Angaben beider Geräte erhält man die Gesamtleistung. Bei induktionsfreier gleicher Belastung der drei Phasen ist der Ausschlag der beiden Leistungsmesser gleich groß. Handelt es sich aber um induktive Belastung, z. B. um die Feststellung der Leistungsaufnahme eines Elektromotors, so werden die angezeigten Werte der beiden Geräte stets verschieden groß sein. Mit wachsender Phasenverschiebung, d. h. mit abnehmender Belastung des Motors, vergrößert sich diese Differenz, bis bei einer Verschiebung des Stromes gegen die Spannung um 60°, entsprechend einem Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0{,}5$, der Zeiger des einen Leistungsmessers auf Null steht. Bei weiterer Entlastung des Motors wächst die Phasenverschiebung immer mehr, da der Magnetisierungsstrom nahezu unabhängig von der Belastung, bei Leerlauf also annähernd so groß wie bei Vollast ist. Der Ausschlag des betreffenden Leistungsmessers wird negativ und ist, um die tatsächliche Leistung zu erhalten, von der Angabe des zweiten Gerätes in Abzug zu bringen. Ist eine negative Ablesung auf der Skala nicht möglich, so sind die Anschlußleitungen zu der Strom- oder der Spannungsspule zu vertauschen und der negative, abzuziehende Wert als positiver Ausschlag festzustellen. Ein Wechsel der Stromrichtung in der Spannungsspule ist empfehlenswerter, da hierbei eine Unterbrechung des Stromkreises nicht erforderlich ist. Diese Art der Leistungsmessung ist jedoch weniger gebräuchlich;

bei ungleicher Phasenbelastung werden vielmehr Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen bevorzugt.

Der Drehstrom-Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen ist ein nach der Zweiwattmeter-Schaltung ausgeführtes ferrodynamisches Gerät. In diesem sind zwei Meßsysteme in einem Gehäuse vereinigt, deren Drehmomente auf eine gemeinsame Achse wirken und somit die Addition der in jedem System gemessenen Teilleistungen selbst vornehmen. Der Anschluß erfolgt für Geräte bis 5 A direkt, für höhere Stromstärken unter Verwendung von Stromwandlern. Im letzteren Falle ist der Leistungsmesser auch für 5 A bemessen, besitzt jedoch eine dem Übersetzungsverhältnis der Stromwandler entsprechende Skala. Der tatsächliche Verbrauch kann also am Gerät unmittelbar abgelesen werden.

In Drehstromanlagen mit beliebig belasteten Phasen und belastetem Nulleiter kann zur Feststellung der Gesamtleistung ein normaler Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen nicht verwendet werden. Obwohl die Skala für Drehstrom geeicht ist, wäre die Angabe des Gerätes trotzdem nicht richtig, da für die Messung nur der Strom zweier Phasen benutzt wird, während der bei einer ungleichen Belastung der drei Phasen durch den Nulleiter zurückfließende Differenzstrom unberücksichtigt bleibt. Zwischen den Angaben des Gerätes und des etwa vorhandenen Zählers würden sich also stets Differenzen ergeben. Die genaueste Leistungsmessung in Drehstromanlagen mit Nulleiter wird mit Hilfe von drei Wechselstrom-Leistungsmessern durchgeführt, deren Stromspulen in den drei Phasen liegen und deren Spannungsspulen jeweils an die betreffende Phase und den Nulleiter angeschlossen werden. Die Addition der Angaben der drei Geräte ergibt die Gesamtleistung. Diese Art der Messung ist wegen der Verwendung von drei Geräten jedoch recht umständlich und kostspielig. Die AEG fertigt daher auch Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen mit drei Meßsystemen an. Diese Instrumente gestatten eine direkte Ablesung der Gesamtleistung. Sie werden ebenfalls nur für Stromstärken bis 5 A ausgeführt und kommen daher für größere Stromstärken in Verbindung mit drei Stromwandlern zur Verwendung.

Die vorstehenden Ausführungen beziehen sich auf Wirkleistungsmessungen. Entsprechende Meßgeräte stehen für die Blindleistungsmessung ebenfalls zur Verfügung.

IV. Messung des Leistungsfaktors.

Erklärung des Leistungsfaktors.

Bekanntlich ist jeder in einer Dynamomaschine erzeugte Strom ein Wechselstrom, d. h. er pulsiert, je nachdem sich die Spule des Ankers an einem Nordpol oder Südpol der Maschine vorbeibewegt, zwischen einem positiven und einem negativen Höchstwert hin und her, wechselt also fortwährend seine Richtung. Dasselbe gilt natürlich auch von der Spannung, unter welcher der Strom in den Ankerspulen entsteht. Während nun bei den Gleichstrommaschinen der Strom durch den Kommutator gleichgerichtet, d. h. durch die Bürsten immer von denjenigen Lamellen entnommen wird, welche die positiven und negativen Höchstwerte besitzen, wird er von den Wechselstrommaschinen in der erzeugten pulsierenden Art vermittels der Schleifringe und Bürsten an das Netz abgegeben. Der Stromverlauf wird am besten durch eine Welle (Sinuslinie, Bild 10) dargestellt.

Solange es sich um induktionsfreie Belastung wie z. B. durch Glühlampen handelt, verläuft die Spannung in gleicher Phase mit der Stromstärke, sie erreichen also zu gleicher Zeit ihre Höchst- und Nullwerte.

Kommt jedoch, wie in den weitaus meisten Fällen, **induktive** Belastung (Motoren, Umspanner) hinzu, so wird nach Bild 11 der Strom J gegen die Spannung E nacheilend verschoben, d. h. er erreicht seine Höchst- und Nullwerte immer etwas später als die Spannung. Diese Verschiebung bezeichnet man allgemein durch den

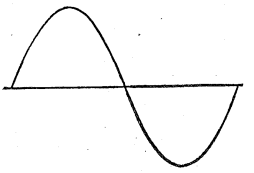


Bild 10. Verlauf eines Wechselstromes.

Phasenverschiebungswinkel φ. Sie wird hervorgerufen durch den Magnetisierungsstrom, den z. B. Motoren und Transformatoren zu ihrer Erregung benötigen. Je größer der Magnetisierungsstrom im Verhältnis zur abgegebenen Leistung ist, desto größer ist auch die Nacheilung des in der Leitung fließenden Stromes gegen die Spannung. Dieser Fall ist besonders bei wenig belasteten Motoren und Transformatoren gegeben, da ihr Magnetisierungsstrom nur wenig von der Belastung abhängt, bei Leerlauf also annähernd so groß wie bei Vollast ist.

Schließlich gibt es auch noch den umgekehrten Fall, daß der Strom der Spannung nicht nacheilt, sondern voreilt, also seinen Höchstwert vor der Spannung erreicht. Dies wird durch **kapazitive** Belastung hervorgerufen, wie sie durch Kabel, Kondensatoren und durch bestimmte Motoren und Umformer gebildet wird. Die voreilende Phasenverschiebung, gemessen durch Winkel φ, wirkt auf die nacheilende ausgleichend, so daß man durch künstliche kapazitive Belastung den Folgen der induktiven entgegenwirken kann.

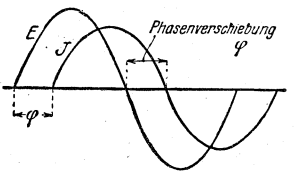


Bild 11. Nacheilende Verschiebung des Stromes zur Spannung bei induktiver Belastung.

Da mit wachsender nacheilender Phasenverschiebung in gleichem Verhältnis auch die Stromstärke trotz gleichbleibender Leistung wächst, ist eine schlechte Ausnutzung von Motoren ungünstig, denn von zwei Motoren gleicher Leistung hat derjenige die größte Stromaufnahme, der eine größere Phasenverschiebung verursacht. Infolge der Nacheilung leistet nämlich nicht mehr der volle in der Leitung fließende und von dem Strommesser gemessene Strom (Scheinstrom) nutzbare Arbeit, sondern nur noch derjenige Teil, welchen man sich in gleicher Phase mit der Spannung fließend denkt. Dieser Teil des Stromes heißt der Wirkstrom und wird bezüglich seiner Größe durch den Leistungsfaktor $\cos\varphi$ festgelegt. Es ist also, wenn mit J der vom Strommesser gemessene Scheinstrom bezeichnet wird, der

$$\text{Wirkstrom } J_w = \text{Scheinstrom} \times \text{Leistungsfaktor} = J \cdot \cos\varphi.$$

Der zweite Teil des Scheinstromes, der Magnetisierungsstrom, ist der Spannung stets um 90° nacheilend zu denken. Dieses ist derjenige Teil, welcher die Verschiebung zwischen Spannung und Scheinstrom verursacht, und wird, da er keine Arbeit leistet, der Blindstrom genannt. Seine Größe wird durch die Bezeichnung

$$\text{Blindstrom } J_b = \text{Scheinstrom} \times \sin\varphi = J \cdot \sin\varphi$$

ausgedrückt.

Diese drei Ströme stehen also in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander, welches gegeben ist durch die Formel

$$J = \sqrt{(J \cdot \cos\varphi)^2 + (J \cdot \sin\varphi)^2}.$$

Die Werte $\cos\varphi$ und $\sin\varphi$ schwanken, entsprechend der Größe des Phasenverschiebungswinkels φ, im umgekehrten Verhältnis zwischen 0 und 1, d. h. bei einem Winkel von 0° ist $\cos\varphi = 1$ und $\sin\varphi = 0$, während bei dem größten Verschiebungswinkel von 90° $\cos\varphi = 0$ und $\sin\varphi = 1$ ist. Wie hieraus hervorgeht, wird mit wachsender Phasenverschiebung der Wirkstrom kleiner und der Blindstrom größer. In welchem Verhältnis diese Änderung erfolgt, geht aus der folgenden Tafel 1 hervor, in welcher für die verschiedenen Werte von $\cos\varphi$ die entsprechenden Werte von $\sin\varphi$ bei gleichbleibendem Scheinstrom angegeben sind. Außerdem ist daraus ersichtlich, daß bei unverändertem Scheinstrom entsprechend der Formel für die Drehstromleistung

$$N = 1{,}73 \cdot E \cdot J \cdot \cos\varphi$$

die Leistung in gleichem Verhältnis wie der $\cos\varphi$ kleiner wird. Andererseits läßt die Tafel erkennen, daß mit abnehmendem $\cos\varphi$, also zunehmender Phasenverschiebung, die prozentualen Stromwärmeverluste, bezogen auf die jeweilige Leistung, immer größer werden, da diese Verluste, in Watt ausgedrückt, immer die gleiche Größe haben.

Beispiel 1. Eine Leistung von $N = 19$ kW bei $\cos\varphi = 1$ und 220 V soll auf eine Entfernung von 200 m übertragen werden, Leitungsquerschnitt $q = 70$ mm² Kupfer.

Dann ist der prozentuale Leistungsverlust

$$p = \frac{100 \cdot L \cdot N}{k \cdot q \cdot E^2 \cdot \cos^2 \varphi} = \frac{100 \cdot 200 \cdot 19\,000}{56 \cdot 70 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 1 \cdot 1} = 2\%$$

$$\text{entsprechend } \frac{2 \cdot 19000}{100} = 380 \text{ W}.$$

Beispiel 2. Bei gleichbleibendem Scheinstrom soll bei $\cos \varphi = 0{,}4$ die entsprechend kleinere Leistung unter sonst gleichen Verhältnissen übertragen werden.

Die Leistung ist

$$N = 19000 \cdot 0{,}4 = 7600 \text{ W}$$

$$\text{und somit } p = \frac{100 \cdot 200 \cdot 7600}{56 \cdot 70 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}4} = 5\%$$

$$\text{entsprechend } \frac{5 \cdot 7600}{100} = 380 \text{ W}.$$

Während also der Leistungsverlust in W in beiden Fällen der gleiche ist, muß er, prozentual ausgedrückt, im Beispiel 2 größer sein, da hier die zu übertragende Leistung nur 40% derjenigen im Beispiel 1 beträgt. Er ist im Beispiel 2 das 5:2 = 2,5fache desjenigen im Beispiel 1, was dem in der Tafel unter $\cos \varphi = 0{,}4$ in der letzten Rubrik angegebenen Werte entspricht.

Tafel 1. Verhältnis von Wirkstrom zu Blindstrom bei Änderung der Phasenverschiebung

cos φ	Verschiebungswinkel φ	Bei gleichbleibendem Scheinstrom				
		Verhältnis der Ströme zueinander			Änderung der Leistung auf %	Steigerung des prozentualen Leistungsverlustes infolge Stromwärme auf das fache
		Wirkstrom J × cos φ	Blindstrom J × sin φ	Scheinstrom J		
		in % des Scheinstromes				
1	0°	100	0	100	100	1
0,95	18° 10′	95	31,2	100	95	1,05
0,9	25° 50′	90	43,6	100	90	1,11
0,85	31° 50′	85	52,7	100	85	1,18
0,8	36° 50′	80	60	100	80	1,25
0,75	41° 20′	75	66,1	100	75	1,33
0,7	45° 30′	70	71,4	100	70	1,43
0,65	49° 30′	65	76	100	65	1,54
0,6	53° 10′	60	80	100	60	1,67
0,55	56° 40′	55	83,5	100	55	1,82
0,5	60°	50	86,6	100	50	2
0,45	63° 20′	45	89,3	100	45	2,22
0,4	66° 30′	40	91,7	100	40	2,5
0,35	69° 30′	35	93,7	100	35	2,86
0,3	72° 30	30	95,4	100	30	3,33
0,25	75° 30′	25	96,8	100	25	4
0,2	78° 30′	20	98	100	20	5
0,15	81° 20′	15	98,9	100	15	6,67
0,1	84° 20′	10	99,5	100	10	10

Den ungünstigen Einfluß des Blindstromes auf den in den Leitungen fließenden Scheinstrom zeigt noch besser die nachstehende Tafel 2, in welcher der Wirkstrom bzw. die Leistung bei verschiedenen Werten von cos φ als gleichbleibend angenommen

wurde. Hinsichtlich des Stromwärmeverlustes geht aus derselben deutlich hervor, daß dieser Verlust quadratisch mit der Zunahme des Scheinstromes wächst. Während z. B. bei einer Änderung des cos φ von 1 auf 0,8 der Scheinstrom von 100 auf 125, also auf das 1,25fache gestiegen ist, hat der Stromwärmeverlust bereits den 1,25 · 1,25 = 1,56fachen Wert erreicht; ferner ist bei cos $\varphi = 0{,}5$ der Scheinstrom auf das Doppelte und der Stromwärmeverlust auf das Vierfache angewachsen.

Beispiel 3. Die im Beispiel 1 angegebene Leistung von N = 19 kW soll bei cos φ = 0,4 und sonst gleichen Verhältnissen übertragen werden.

Es ist dann

$$p = \frac{100 \cdot 200 \cdot 19000}{56 \cdot 70 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}4} = 12{,}5\%$$

$$\text{entsprechend } \frac{12{,}5 \cdot 19000}{100} = 2375 \text{ W.}$$

Dieser Verlust stellt das 6,25fache des im Beispiel 1 errechneten Wertes dar, während, wie aus der Tafel hervorgeht, der Scheinstrom auf das 2,5fache gestiegen ist.

Tafel 2. Verhältnis von Scheinstrom zu Blindstrom bei Änderung der Phasenverschiebung.

cos φ	Verschiebungswinkel φ	Bei gleichbleibendem Wirkstrom und Leistung				
		Verhältnis der Ströme zueinander			Leistung	Steigerung des Leistungsverlustes infolge Stromwärme auf das fache
		Wirkstrom $J \times \cos \varphi$	Blindstrom $J \times \sin \varphi$	Scheinstrom J		
		in % des Wirkstromes			%	
1	0°	100	0	100	100	1
0,95	18° 10′	100	33,0	105,3	100	1,11
0,9	25° 50′	100	48,4	111,1	100	1,23
0,85	31° 50′	100	61,9	117,6	100	1,38
0,8	36° 50′	100	75,0	125	100	1,56
0,75	41° 20′	100	88,1	133,3	100	1,78
0,7	45° 30′	100	102,1	142,9	100	2,04
0,65	49° 30′	100	116,9	153,8	100	2,37
0,6	53° 10′	100	133,3	166,7	100	2,78
0,55	56° 40′	100	151,8	181,8	100	3,31
0,5	60°	100	173,2	200	100	4
0,45	63° 20′	100	198,4	222,2	100	4,94
0,4	66° 30′	100	229,1	250	100	6,25
0,35	69° 30′	100	267,6	285,7	100	8,16
0,3	72° 30′	100	317,9	333,3	100	11,11
0,25	75° 30′	100	387,3	400	100	16
0,2	78° 30′	100	490	500	100	25
0,15	81° 20′	100	659	667	100	44,4
0,1	84° 20′	100	995	1000	100	100

Die Phasenverschiebung hat auf die Ausnutzung eines Kraftwerkes einen recht ungünstigen Einfluß. Der nacheilende Blindstrom, in der Regel die Folge schlecht belasteter Motoren, schwächt das Magnetfeld der Generatoren, so daß die Spannung sinkt. Der Erregerstrom muß also verstärkt werden, um die Spannung wieder auf die normale Höhe zu bringen. Dies ist aber wegen der größeren Erwärmung der Erregerwicklung und der für die Erregung zur Verfügung stehenden begrenzten Leistung nur bis zu einem gewissen Grade möglich. Außerdem ist die Grenze der Belastung von

Generatoren die Betriebsstromstärke (A), nicht die Leistung (kW). Ihre Leistung wird also bei schlechtem Leistungsfaktor kleiner. Wie aber oben erläutert, ist der Leistungsverlust abhängig vom Scheinstrom, also trotz der kleineren Leistung sehr groß und demnach ein verhältnismäßig großer Aufwand von mechanischer Energie erforderlich, um diesen Verlust in dem Leitungsnetz zu decken. Infolgedessen kann bei einem ständig schlechten Leistungsfaktor die Wirtschaftlichkeit eines Elektrizitätswerkes wesentlich herabgesetzt werden.

Aus diesem Grunde sind die Elektrizitätswerke größtenteils dazu übergegangen, den Leistungsfaktor in den Stromtarifen zu berücksichtigen, und zwar derart, daß der Normaltarif nur für ein bestimmtes Verhältnis von Blindstrom und Wirkstrom bei den Verbrauchern gilt. Zu dieser Feststellung werden außer den normalen Wattstundenzählern noch sogenannte Blindstromzähler seitens des Werkes aufgestellt. Ergibt sich dann das Verhältnis des entnommenen Blindstromes zum Wirkstrom günstiger, als im Vertrage festgesetzt, so wird für jedes weniger verbrauchte Blindkilowatt eine bestimmte Summe vergütet, während im andern Falle außer dem Rechnungsbetrage noch ein besonderer Zuschuß erhoben wird. Dadurch hat jeder Stromabnehmer das größte Interesse, durch möglichst gute Ausnutzung der Motoren die Phasenverschiebung seiner Anlage klein zu halten. In vielen Betrieben wird jedoch ein ständiger Betrieb der Motoren mit ihrer vollen Leistung wegen der Eigenart der Arbeitsmaschine nicht immer möglich sein. Die dann anzuwendenden Mittel sind im Abschnitt „Elektrische Einrichtungen zur Verbesserung des Leistungsfaktors" ausführlich behandelt.

Die **Ermittlung des Leistungsfaktors** kann nach drei verschiedenen Meßverfahren erfolgen:

1. Strom-, Spannungs- und Leistungsmessung,
2. Messung mit unmittelbar anzeigenden Leistungsfaktormessern
3. Wirk- und Blindleistungsmessung.

1. Ermittlung mit Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser.

In Anlagen, in denen eine ständige Überwachung des Leistungsfaktors nicht erforderlich ist, sondern eine gelegentliche Nachprüfung desselben ausreicht, empfiehlt sich die Bestimmung an Hand der Angaben der vorhandenen **Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser.** Diese Ermittlung erfolgt nach den Formeln:

$$\text{Wechselstrom} \quad \cos\varphi = \frac{N}{E \cdot J}$$

$$\text{Drehstrom} \quad \cos\varphi = \frac{N}{\sqrt{3} \cdot E \cdot J}$$

Hierin bedeuten:

E = vom Spannungsmesser angezeigte Spannung,
J = vom Strommesser angezeigter Strom,
N = vom Leistungsmesser angezeigte Leistung.

Die Ablesung der drei Meßgeräte ist zu gleicher Zeit vorzunehmen.

Beispiel: In einer Drehstromanlage wurden folgende Werte abgelesen:
E = 380 V, J = 25 A, N = 12,8 kW bei induktiver Belastung; der Leistungsfaktor ist dann $\cos\varphi = \frac{12{,}8\ \text{kW}}{173 \cdot 380\ \text{V} \cdot 26\ \text{A}} = 0{,}78$ ind.

Diese Rechnungsart stimmt nur bei gleicher Phasenbelastung des Drehstromsystems. Ist das Drehstromsystem ungleichmäßig belastet, so können unter Umständen erhebliche Fehler auftreten.

2. Messung mit Leistungsfaktormesser.

Unmittelbar anzeigende Leistungsfaktormesser sind für solche Anlagen zu empfehlen, in denen eine ständige Überwachung der Phasenverschiebung gewünscht wird. Es ist jedoch zu beachten, daß ein solches Gerät in Drehstromanlagen nur den Lei-

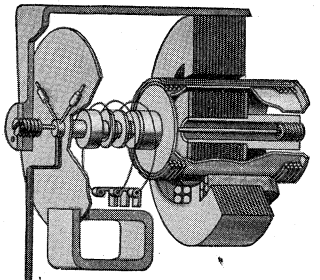


Bild 12. Meßwerk eines Leistungsfaktormessers.

stungsfaktor einer Phase anzeigt, und zwar derjenigen, in welche die Stromspule angeschlossen ist. Bei Drehstromanlagen mit ungleicher Belastung kann die Phasenverschiebung je nach der Art der Netzbelastung in den einzelnen Phasen erheblich voneinander abweichen, so daß die Anzeige eines Leistungsfaktormessers nur unter Berücksichtigung dieser Umstände auszuwerten ist.

Leistungsfaktormesser werden mit einem eisengeschlossenen elektrodynamischen Meßwerk hergestellt. Der Aufbau ist aus Bild 12 ersichtlich.

Ein Eisenrückschlußring umschließt konzentrisch einen Eisenzylinder, so daß ein ringförmiger Luftspalt entsteht. Der Ring trägt zwei feststehende Spulen, durch die ein dem Strom verhältnisgleicher Meßstrom fließt. Es entsteht ein Magnetfeld, dessen Dichte ebenfalls dem Strom verhältnisgleich und phasengleich ist. In dem Luftspalt sind zwei um 90 Grad gegeneinander versetzte Spulenpaare mit gemeinsamer Achse drehbar angeordnet. Die in diesen Spulen fließenden Ströme sind den verketteten Spannungen verhältnisgleich. Es entstehen zwei Drehmomente verschiedener Größe und Richtung. Unter Einwirkung dieser Drehmomente werden die Spulen so weit gedreht, bis beide Momente, deren Größe sich mit der Verdrehung ändert, einander gleich sind. Eine Federrichtkraft ist nicht vorhanden. Der Zeiger hat deshalb in stromlosem Zustand des Meßgerätes keine bestimmte Ruhelage. Durch eine Wirbelstromdämpfung wird eine nahezu überschwingungsfreie Einstellung des Zeigers erreicht.

Die Skala entspricht bei Leistungsfaktormessern dem cos φ und kann in besonderen Fällen so ausgeführt werden, daß der Zeiger 360° Ausschlag machen kann und der Meßbereich für Bezug und Lieferung der Energie bei induktiver und kapazitiver Belastung (nacheilender oder voreilender Strom) gilt (Bild 13).

3. Ermittlung mit Wirk- und Blindleistungsmesser.

Kommt es darauf an, den Gesamtleistungsfaktor einer in den drei Phasen ungleich belasteten Drehstromanlage möglichst zuverlässig und genau zu bestimmen, so empfiehlt sich die Bestimmung der Gesamtwirkleistung und der Gesamtblindleistung. Aus diesen Meßgrößen läßt sich der Gesamtleistungsfaktor in einfacher Weise zeichnerisch oder rechnerisch ermitteln.

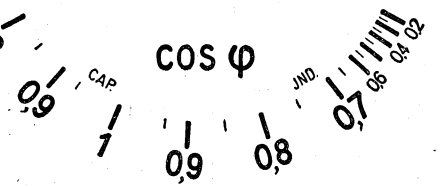


Bild 13. Skala eines Leistungsfaktormessers.

In Bild 14 sind solche Kurven dargestellt, an Hand derer die Leistungsfaktorermittlung erfolgen kann.

Beispiel: Die gleichzeitige Ablesung der Wirkleistung Nw am Wirk- und die Blindleistung Nb am Blindleistungsmesser ergab:

$$Nw = 10\ kW \text{ und}$$
$$Nb = 6{,}5\ .\ kV_{ar} \text{ bei induktiver Belastung.}$$

Es wird das Verhältnis gebildet: $\frac{Nb}{Nw} = 0{,}65$ und für diesen Wert der Leistungs-

faktor an der Ordinate (induktiv) abgelesen. Die obere Kurve gilt für $\frac{Nb}{Nw}$ Werte von 0...1,7; die untere für Werte von 0...17. Im Beispielsfalle ist cos φ = 0,84 ind.

Die Berechnung erfolgt nach der Formel

$$\cos \varphi = \frac{Nw}{\sqrt{Nb^2 + Nw^2}}$$

Für obiges Beispiel ist

$$\cos \varphi = \frac{10}{\sqrt{6{,}5^2 + 10^2}} = \frac{10}{11{,}9} = 0{,}84$$

Eine besonders bequeme Art dieser Messung ergibt sich durch die Anwendung von Wirk- und Blindleistungsschreibern, bei denen auf einen Meßstreifen unabhängig von einander die beiden Meßgrößen aufgezeichnet werden.

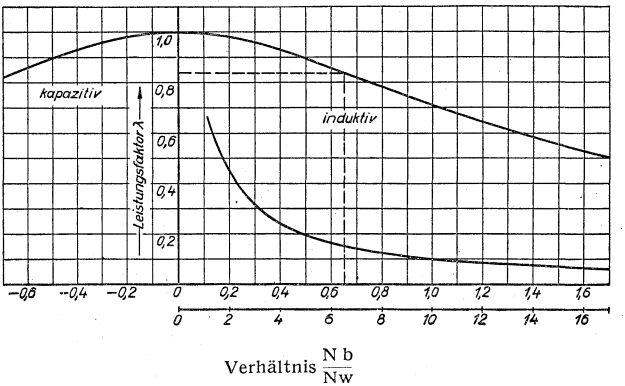


Bild 14. Kurven zur Ermittlung des Leistungsfaktors.

Bei Anlagen mit stark schwankendem Leistungsfaktor (z.B. Lichtbogenöfen, Motoren mit wechselnder Drehzahl), wird das Verhältnis vom Blind- zum Wirkleistungsverbrauch über einen gewissen Zeitraum mittels Blind- und Wirkverbrauchzähler ermittelt.

V. Frequenzmessung.

Frequenzmesser dienen zur Messung der Periodenzahl des Wechselstroms und werden zur Frequenzüberwachung und zum Parallelschalten verwendet. Die gebräuchliche Art sind Zungenfrequenzmesser. Bei ihnen (Bild 15) wird eine Reihe eingespannter Stahlzungen durch einen Elektromagneten erregt. Diejenigen Zungen, deren Eigenschwingungszahlen in der Nähe der Frequenz des Wechselstroms liegen, geraten in Resonanz und stimmen den Wert der Frequenz an. Der gesamte Frequenzbereich wird in Teilstufen angezeigt, die der Anzahl der Zungen entsprechen. Bei Zwischenwerten schwingen mehrere benachbarte Zungen gleichzeitig und es entsteht ein Schwingungsbild, durch das die Zwischenfrequenz geschätzt werden kann. (Verwendung zum Parallelschalten von Maschinen siehe Seiten 54 und 132.)

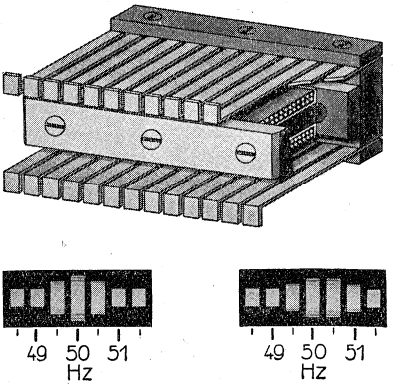


Bild 15. Aufbau und Skala eines Zungen-Frequenzmessers.

Für die genauere Frequenzüberwachung in Großwerken bei Verbundbetrieb reicht die Anzeigegenauigkeit der Zungenfre-

quenzmesser nicht aus, und es werden Zeigerfrequenzmesser angewendet, bei welchen sich ein Meßbereich von 49,9...50,1 Hz für die gesamte Skala erzielen läßt (Bild 16).

VI. Widerstands- und Isolations-Messungen.

Allgemeines

Außer Isolationswiderständen mit den hierbei auftretenden hohen Ohm-Werten werden in jedem elektrotechnischen Betriebe gelegentlich andere **Widerstände**, z. B. der Spulen von Maschinen und Geräten gemessen. Erfahrungsgemäß erstrecken sich die im täglichen Gebrauch vorkommenden Widerstände auf einen Bereich von 0,05 ... 50000 Ohm. Für diesen weiten Bereich ist die bekannte Wheatstonsche Meßbrücke das gegebene Meßverfahren, da bei ihr der Gesamtbereich in einzelne Stufen unterteilt werden kann und somit über den gesamten Bereich eine gute Gebrauchsgenauigkeit erzielt wird. Die handliche Ausführung einer solchen Meßbrücke siehe Seite 444.

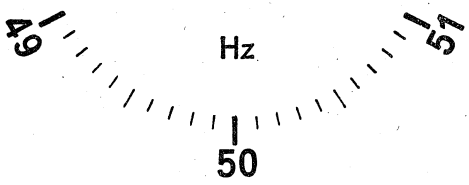


Bild 16. Skala eines Zeigerfrequenzmessers.

Andere Meßverfahren sind bei der **Isolationsmessung** in Gebrauch, wofür folgendes vorausgeschickt werden soll.

Auch wenn beste Isolierstoffe mit größter Sorgfalt angewendet werden, ist es nicht möglich, eine vollständige elektrische Isolation der Stromleitungen zu erreichen. Stets tritt ein geringer Fehlerstrom auf. Ist er nicht größer als $^1/_{1000}$ A = 1 mA, so wird er als unschädlich angesehen. Die Isolation genügt dann den Sicherheitsvorschriften des VDE und gilt als ausreichend.

In der Praxis wird nicht der Fehlerstrom gemessen, sondern der Widerstand, den die Isolation dem Stromdurchfluß entgegensetzt (**Isolationswiderstand**). Aus diesem und aus der Betriebsspannung berechnet sich dann nach dem Ohmschen Gesetz der im Betrieb auftretende

$$\text{Fehlerstrom in Ampere} = \frac{\text{Betriebsspannung in Volt}}{\text{Isolationswiderstand in Ohm}}$$

Der Fehlerstrom soll den vorgeschriebenen Höchstwert von 1 mA nicht überschreiten, der Isolationszustand ist also ausreichend, wenn der Isolationswiderstand größer ist als

110000 Ohm bei 110 V Betriebsspannung,
220000 „ „ 220 „ „
380000 „ „ 380 „ „
500000 „ „ 500 „ „ usw.

Bei der Messung der Isolationswiderstände hat man es also immer mit großen Werten zu tun, deshalb ist dafür, der Bequemlichkeit halber, auch eine größere Maßeinheit, das „Megohm" (MΩ) eingeführt, das einer Million Ohm gleich ist.

110000 Ohm sind also = 0,11 Megohm,
220000 „ „ „ = 0,22 „
380000 „ „ „ = 0,38 „
500000 „ „ „ = 0,50 „
1000000 „ „ „ = 1,00 „
3000000 „ „ „ = 3,00 „

Die Skalen der Meßinstrumente sind meist in Megohm geeicht.

Der VDE verlangt nicht, daß die gesamte Anlage diese Isolationswiderstände besitzt. Es genügt, wenn jede Teilstrecke zwischen zwei Sicherungen oder die Strecke hinter der letzten Sicherung für sich den verlangten Isolationswiderstand aufweist

Der Isolationswert der aus mehreren Zweigstrecken oder mehreren Stromverbrauchern zusammengesetzten Gesamtanlage wird daher wesentlich geringer sein dürfen; denn wenn für jede einzelne Teilstrecke der Gesamtanlage ein Fehlerstrom von 1 mA zulässig ist, ist für eine aus drei Teilstrecken bestehende Gesamtanlage ein Fehlerstrom von 3 mA zulässig. Der Isolationswert der Gesamtanlage hängt also nicht nur von der Beschaffenheit der Isolierstoffe, sondern auch von dem Umfang der Anlage ab. Sehr ausgedehnte Leitungsnetze dürfen daher einen weit größeren Fehlerstrom als 1 mA aufweisen, ohne deshalb mangelhaft zu sein.

Der Isolationswiderstand einer Anlage ändert sich ferner unter dem Einfluß der Wärme, der Feuchtigkeit und ähnlicher Einflüsse. Bei Freileitungen mit hohem Isolationswert, geht derselbe bei Regen zurück. Ebenso werden die Leitungen in einem Neubau unmittelbar nach der Verlegung wegen der vorhandenen Feuchtigkeit gewöhnlich nur einen geringeren Isolationswert haben, der sich aber mit dem Austrocknen des Baues verbessert.

In feuchten, durchtränkten und ähnlichen Räumen wird durch Feuchtigkeit, Wärme, chemische und sonstige Einflüsse die dauernde Erhaltung normaler Isolation auch bei sorgfältiger Anlage erschwert. Derartige Räume kommen vor in chemischen Fabriken, Färbereien, Gerbereien, Zuckerfabriken, Molkereien, Käsereien, Metzgereien, Wäschereien, landwirtschaftlichen und ähnlichen Betrieben.

Die Vorschriften des VDE nehmen auf diese Verhältnisse Rücksicht. Sie lauten:

1. Isolationsmessungen sollen tunlichst mit der Betriebsspannung, mindestens aber mit 100 V ausgeführt werden.
2. Bei Isolationsmessungen mit Gleichstrom gegen Erde soll, wenn tunlich, der negative Pol der Stromquelle an die zu messende Leitung gelegt werden. Bei Isolationsmessungen mit Wechselstrom ist die Kapazität zu berücksichtigen.
3. Wenn bei diesen Prüfungen nicht nur die Isolation zwischen den Leitungen und Erde, sondern auch die Isolation je zweier Leitungen gegeneinander geprüft wird, so sollen alle Glühlampen, Bogenlampen, Motoren oder andere stromverbrauchende Apparate von ihren Leitungen abgetrennt, dagegen alle vorhandenen Beleuchtungskörper angeschlossen, alle Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen sein. Reihenstromkreise sollen jedoch nur an einer einzigen Stelle geöffnet werden, die möglichst nahe der Mitte zu wählen ist. Dabei sollen die Isolationswiderstände den Bedingungen der Regel 4 genügen.
4. Der Isolationszustand einer Niederspannungsanlage gilt als angemessen, wenn der Stromverlust auf jeder Teilstrecke zwischen zwei Sicherungen oder hinter der letzten Sicherung bei der Betriebsspannung 1 mA nicht überschreitet. Der Isolationswert einer derartigen Leitungsstrecke sowie jeder Verteilungstafel soll hiernach wenigstens betragen:
   1000 Ohm multipliziert mit der Betriebsspannung in Volt (z. B. 220000 Ohm für 220 V Betriebsspannung).
   Für Maschinen, Akkumulatoren und Transformatoren wird auf Grund dieser Vorschriften ein bestimmter Isolationswiderstand nicht gefordert.
5. Freileitungen und diejenigen Teile von Anlagen, welche in feuchten und durchtränkten Räumen, z. B. Brauereien, Färbereien, Gerbereien, Räumen mit Tropfwasser usw. oder im Freien verlegt sind, brauchen im allgemeinen Regel 4 nicht zu genügen, sollen jedoch einen den besonderen Verhältnissen angemessenen Isolationswiderstand haben. Sofern eine größere Anlage feuchte Teile enthält, sollen diese bei der Isolationsprüfung abgeschaltet sein und die trockenen Teile sollen Regel 4 genügen.

Isolationsmessung bei Anlagen im Betrieb.

Erdschlußprüfer. In Anlagen, die sich im Betrieb befinden, besteht das Bedürfnis, sich über den Isolationszustand jederzeit ein ungefähres Bild zu machen. Im allgemeinen genügt es, wenn das Auftreten eines nennenswerten Isolationsfehlers in einer Leitung erkannt werden kann. Diese grobe Überprüfung des Isolationszustandes erfolgt

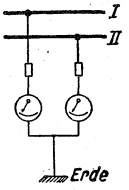


Bild 17.
in Zweileiteranlagen.

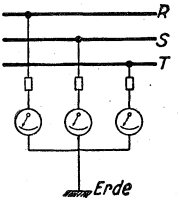


Bild 18.
in Drehstromanlagen.

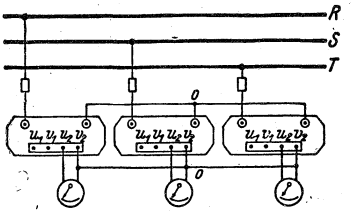


Bild 19.
Schaltung der Spannungsmesser als Erdschlußprüfer in Hochspannungsanlagen unter Verwendung von 3 Einphasen-Spannungswandlern in Sternschaltung.

mittels des Erdschlußprüfers. Man benutzt dazu in Wechsel- und Drehstromanlagen normale Weicheisen-Spannungsmesser und in Gleichstromanlagen Drehspul-Spannungsmesser, die für die Isolationsprüfung geeicht sind und nach Bild 17 und 18 auf die Sammelschienen geschaltet werden. Bild 19 zeigt die Erdschluß-Prüfanlage für höhere Spannungen unter Verwendung von drei Einphasen-Spannungswandlern in Sternschaltung.

In Niederspannungsanlagen macht man die Instrumente abschaltbar. Man schaltet sie nur in dem Augenblick ein, in dem der Isolationszustand festgestellt werden soll. Bei ungestörtem Betriebe werden die Erdschlußspannungsmesser in Einphasen-Wechselstromanlagen die halbe Betriebsspannung, in Drehstromanlagen die Phasenspannung anzeigen. Tritt in einer Leitung ein nennenswerter Isolationsfehler auf, so geht der Ausschlag des Spannungsmessers, der an der fehlerhaften Phase liegt, zurück, während derjenige der übrigen Spannungsmesser größer wird.

Erdschlußmesser. Um den Isolationswert der im Betrieb befindlichen Anlagen durch Messung zu ermitteln, bedient man sich in Gleichstromanlagen der Drehspulspannungsmesser mit Ohmskala. Man verbindet sie entsprechend Bild 20 mit einem doppelpoligen Spannungsmesserumschalter mit drei Kontakten. In den Stellungen I bzw. III kann dann der Isolationswiderstand der Minusleitung bzw. der Plusleitung gegen Erde auf der Skala des Gerätes unmittelbar in Ohm abgelesen werden. Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Betriebsspannung der Anlage gleich der Spannung ist, für die die Ohmskala gilt; diese Spannung ist auf der Skala vermerkt. Die Betriebsspannung wird in Stellung II des Umschalters gemessen. Weichen beide Spannungen voneinander ab, so müssen die Isolationswiderstände auf Grund von drei Einzelmessungen rechnerisch ermittelt werden. In den drei Stellungen des Umschalters liest man ab

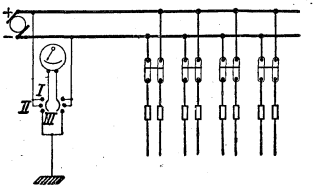


Bild 20.
Erdschlußmessung an einer im Betrieb befindlichen Gleichstromanlage.

in Stellung I die Spannung der Plusleitung gegen Erde = e_p;
in Stellung III die Spannung der Minusleitung gegen Erde = e_m;
in Stellung II die Netzspannung zwischen der Plus- und Minusltg. = E.

Mit Hilfe des Widerstandes, der auf dem Gerät angegeben ist (R_v), errechnet man dann die Isolationswiderstände nach folgenden Formeln:

der Plusleitung gegen Erde $R_p = R_v \cdot \left(\frac{E - e_p}{e_m} - 1\right)$

der Minusleitung gegen Erde $R_m = R_v \cdot \left(\frac{E - e_m}{e_p} - 1\right)$

der Gesamtanlage $R = R_v \cdot \left(\frac{E - e_p - e_m}{e_p + e_m}\right)$

Beispiel: Der Instrumentenwiderstand sei $R_v = 26\,000$ Ohm,
die Netzspannung $E = 220$ Volt,
die Voltmeterausschläge $e_p = 54$ Volt,
$e_m = 11$ Volt,

$$R_p = 26\,000 \cdot \left(\frac{220-54}{11} - 1\right) = 366\,600 \text{ Ohm}$$

$$R_m = 26\,000 \cdot \left(\frac{220-11}{54} - 1\right) = 74\,600 \text{ Ohm}$$

$$R = 26\,000 \cdot \left(\frac{220-54-11}{54+11}\right) = 62\,000 \text{ Ohm}$$

Bei Anlagen außer Betrieb oder bei Anlagen während des Baues oder vor der Inbetriebsetzung erfolgt die Messung des Isolationszustandes mittels tragbarer Geräte. Über die hierbei verwendeten Geräte und Meßverfahren siehe Seite 445.

VII. Genauigkeit von Meßgeräten:

Eine vollkommene Übereinstimmung der Größe des Meßwertes mit der Anzeige des zur Messung benutzten Gerätes ist niemals vorhanden. Durch verschiedene Einflüsse wie Lagerreibung, Einfluß der Temperatur, Ablesefehler usw. ergeben sich immer geringe Abweichungen. Es ist verständlich, daß die Größe dieser Abweichungen dem Zweck der Messung angepaßt sein kann und daß man bei einer überschlägigen Betriebsmessung größere Differenzen zulassen kann, als bei einer exakten Messung im Laboratorium.

Damit bezüglich dieser Abweichungen klare Verhältnisse vorliegen, sind vom VDE Regeln für Meßgeräte herausgegeben worden, in denen die Größe der zulässigen Abweichungen in bezug auf den jeweiligen Verwendungszweck angegeben ist. Die VDE-Regeln teilen die Meßgeräte in fünf Klassen gemäß der nachstehenden Tabelle ein.

	Feinmeßgeräte		Betriebsmeßgeräte		
Klasse	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5
Anzeigefehler in % vom Skalenendwert	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5

C. Schreibende Schalttafelmeßgeräte.

Schreibende Schalttafelmeßgeräte, auch **Tintenschreiber** genannt, dienen zur Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufes von Meßgrößen. Sie gestatten eine nachträgliche Prüfung von Betriebsvorgängen und Störungserscheinungen in Verteilungsnetzen und sonstigen elektrischen Anlagen. Die Tintenaufzeichnung ergibt bei einfacher Wartung klare, unterbrechungslose Meßlinien. Tintenschreiber werden in zwei Ausführungsformen hergestellt, die sich im wesentlichen durch die äußeren Abmessungen und die nutzbare Schreibbreite des Meßstreifens unterscheiden. Bild 21 zeigt die kleine Form, die als Prüfgerät für solche Anlagen bestimmt ist, in denen die Aufzeichnung in kleinem Maßstab auf einem Meßstreifen von 70 mm nutzbarer Breite ausreicht, wobei jedoch der geringe Platzbedarf und der niedrige Anschaffungspreis eine Rolle spielen.

Die große Form kann allen in der Praxis vorkommenden Sonderfällen angepaßt werden. Infolge der größeren nutzbaren Schreibbreite von 120 mm lassen sich Einzel-

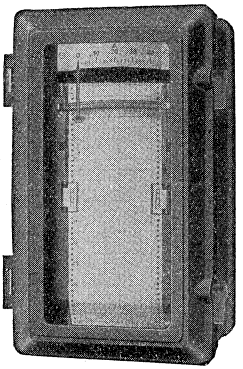


Bild 21. Schreibendes Meßgerät (Tintenschreiber).

heiten der Meßlinie mit größerer Genauigkeit ablesen. Die Aufzeichnung erfolgt in beiden Fällen in gradlinigen rechtwinkligen Koordinaten. Zwischen dem Meßwerk und der Schreibfeder ist keine mechanische Gradführung angebracht. Die Gradlinienaufzeichnung wird dadurch erreicht, daß der Papierstreifen über eine konzentrisch zur Systemachse gebogene Schreibplatte gezogen wird. Der Vorschub des Meßstreifens erfolgt durch Uhrwerke mit Handaufzug. Die Gangdauer ist in der Regel acht Tage. Die Ablaufgeschwindigkeit kann den Betriebsverhältnissen angepaßt werden und beträgt wahlweise 20/30/60/120 oder 240 mm/h.

Die Gehäuse der Tintenschreiber für Schalttafelaufbau und Einbau sind staub- und spritzwasserdicht ausgeführt. Die tragbaren Geräte haben Holzgehäuse mit Klappdeckel und Tragriemen. Die Anschlußklemmen sind abgedeckt und können durch Plomben gegen fremde Eingriffe gesichert werden.

Besondere Beachtung verdient ein kleiner Universalschreiber, der als Strommesser und Spannungsmesser für Gleich- und Wechselstrom verwendbar ist. Durch die vielseitige Meßbereichzusammenstellung genügt dieses eine Gerät für fast alle praktisch vorkommenden Strom- und Spannungsmessungen. Die Handhabung wird dadurch vereinfacht, daß sämtliche Meßgrößen auf nur einer Skala abgelesen werden.

D. Meßwandler.

Meßwandler dienen dazu, die Meß- und Schutzkreise in elektrischen Anlagen von der Hochspannung zu trennen und außerdem um die Meßgrößen selbst auf einen bequem meßbaren und einheitlichen Wert umzuformen. Sie sind Umspanner, deren Primärwicklung von dem Strom durchflossen bzw. an die Spannung gelegt wird, die gemessen oder beherrscht werden soll. In der Sekundärwicklung fließt praktisch ein dem Betriebsstrom verhältnisgleicher und phasengleicher Meßstrom bzw. eine der Betriebsspannung verhältnisgleiche und phasengleiche Meßspannung. Die Primär- und Sekundärwicklungen sind elektrisch vollständig voneinander getrennt, so daß lediglich eine magnetische Kupplung besteht.

Näheres über die Meßwandler siehe unter Schaltanlagen Seite 133.

E. Tragbare Betriebsmeßgeräte.

Die Beobachtung der fest eingebauten, anzeigenden oder schreibenden Schalttafelmeßgeräte reicht zur einwandfreien Betriebsüberwachung nicht immer aus. Oft ist es erforderlich, an irgendwelchen Stellen zusätzliche Messungen durchzuführen. Hier sind tragbare Meßgeräte am Platze, die von der AEG in allen den Bedürfnissen der Praxis entsprechenden Ausführungsformen hergestellt werden. Diese Geräte sind einfach in ihrer Handhabung, so daß auch ungeschulte Arbeitskräfte mit ihnen zu brauchbaren Messergebnissen kommen. Ferner sind sie elektrisch und mechanisch so aufgebaut, daß sie auch den starken Beanspruchungen in der Werkstatt, im Betrieb und auf der Baustelle gewachsen sind.

Diese Meßgeräte lassen sich zu handlichen Meßsätzen zusammenstellen, die für den Installateur und den Elektromeister für den täglichen Gebrauch unentbehrlich sind.

Tragbare Meßgeräte für Strom- und Spannungsmessung.

Diese Geräte werden mit folgenden Meßwerken hergestellt:

Drehspulmeßwerk für Strom- und Spannungsmessung bei Gleichstrom,

Dreheisenmeßwerk für Strom- und Spannungsmessung bei Gleich- und Wechselstrom, 50 Hz,

Der Anzeigefehler entspricht der Klasse G der VDE-Vorschriften und liegt innerhalb ± 1,5% vom Skalenendwert. Das Isolierstoffgehäuse hat die Abmessungen 150 × 200 × 75 mm; ein fester Tragriemen erhöht die Handlichkeit (Bild 22).

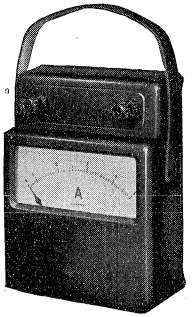


Bild 22.
Tragbares Meßgerät.

Diese Meßgeräte sind elektrisch so unempfindlich, daß eine kurzzeitige Überlastung sie nicht gleich zerstört. Dreheisen-Strommesser beispielsweise können für eine Sekunde den 50fachen Nennstrom ohne Beschädigung aushalten. Hierdurch werden zeitraubende Instandsetzungen der Meßgeräte möglichst vermieden.

Die Geräte können, soweit das in Betracht kommt, für Betriebsspannungen bis 650 V geliefert werden. Für das Messen größerer Stromstärken bis 600 A kann ein tragbarer Stromwandler benutzt werden (Bild 23).

Tragbare Kleinmeßbrücke.

Die AEG-Kleinmeßbrücke (Bild 24) ist nach der Wheatstoneschen Schaltung aufgebaut und zeichnet sich durch die geringen Abmessungen und die einfache Handhabung aus. Dadurch, daß der Meßbereichumschalter und das Galvanometer innerhalb des Schleifdrahtringes untergebracht sind, ergibt sich trotz der geringen Abmessungen eine große Schleifdrahtlänge und damit eine übersichtliche große Skala. Als Meßspannungsquelle dient eine eingebaute Taschenlampenbatterie.

Das Gerät ermöglicht die rasche und genaue Messung von Widerständen in der Größe von 0,05...50 000 Ohm.

Dieser Bereich ist in fünf Stufen unterteilt. Beim Drehen des Meßbereichwählers erscheint der jeweils anzuwendende Ablesefaktor unter der roten Ablesemarke der Skala.

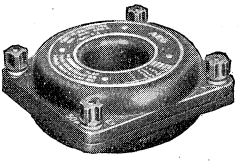
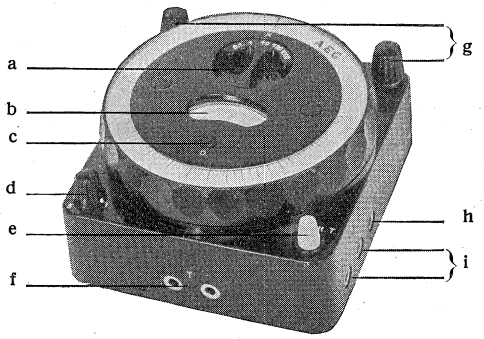


Bild 23.
Tragbarer Stromwandler.

Das Gerät ist ferner mit einem Umschalter für folgende drei Stellungen versehen. In Stellung 1 des Umschalters werden feste Widerstände mit der eingebauten Batteriespannung gemessen, in Schalterstellung 2 liegt die eingebaute Batterie mit einer äußeren in Reihe und in Schalterstellung 3 können flüssige Widerstände mit Hilfe eines Summers und eines Telefons gemessen werden.

Die durch die Schalterstellung 2 herbeigeführte Hintereinanderschaltung von Batterien ist deshalb erforderlich, weil bei sehr großen Widerständen über 10 000 Ohm der Strom, der infolge der anliegenden Batteriespannung von nur 4 V durch den Meßkreis und damit das Nullgalvanometer fließt, sehr klein ist. Das Galvanometer hat in diesen Fällen nur eine geringe Richtkraft; die Meßwerte streuen und die Messung wird ungenau. Der Vorteil des Umschalters liegt da-



a = Meßbereichwähler
b = Galvanometer
c = Nullstellung
d = Umschalter
e = Taster
f = Telefonanschluß
g = Anschlußklemmen
h = Summeranschluß
i = Anschluß der äußeren Meßspannung.

Bild 24. Tragbare Kleinmeßbrücke.

rin, daß bei unbekannten Prüflingen mit hohem Widerstandswert erst in Schalterstellung 1 mit der eingebauten Batterie vorabgeglichen werden kann. Dies ist zweckmäßig, da bei unvermutetem Kurzschluß im Prüfling eine etwa schon angelegte höhere Spannung das Galvanometer beschädigen könnte. Erweist sich der Prüfling als einwandfrei, so kann durch Drehung des Umschalters von Stellung 1 in Stellung 2 die innere Batterie mit der schon vorher angeschlossenen äußeren in Reihe gelegt werden und der genaue Abgleich erfolgen.

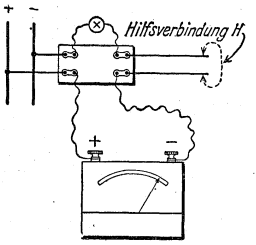


Bild 25. Leitungsprüfung mit Netzspannung.

Flüssige Widerstände können nicht mit Gleichstrom gemessen werden. Infolge der Polarisationserscheinungen würde sich eine Fälschung des Meßergebnisses ergeben. Aus diesem Grunde wandelt ein ansteckbarer Summer die Gleichspannung der eingebauten Taschenlampenbatterie in eine Wechselspannung um und die Nullabstimmung der Brücke wird nicht mehr durch das Galvanometer sondern durch den Tonkleinstwert in einem Telefonhörer vorgenommen.

Isolationsmessungen mit tragbaren Meßgeräten.

Allgemeines über den Isolationswiderstand vgl. S. 439 u. ff. Dort ist auch dargestellt, wie die Isolationsmessung in Anlagen erfolgt, die sich in Betrieb befinden.

1.) Messung bei Anlagen außer Betrieb mit Gleichstromnetzspannung.

Drehspulspannungsmesser für Gleichstrom eignen sich wegen ihrer hohen Meßempfindlichkeit auch für die Isolationsmessungen mit Hilfe der Netzspannung an Leitungen und Stromverbrauchern, die sich nicht im Betriebe befinden. Man verwendet dazu tragbare Drehspulgeräte, die mit einer Ohmskala versehen werden können, so daß der Isolationswiderstand der zu prüfenden Leitung am Zeigerausschlag unmittelbar abgelesen werden kann. Diese Angaben sind aber nur richtig, wenn die Netzspannung der Spannung gleich ist, für die die Ohmskala geeicht wurde. Diese Spannung ist auf dem Gerät angegeben. — Da aber die Netzspannung nicht in allen Teilen des Netzes gleich und unveränderlich ist, gibt ein mit Ohmskala versehener Drehspulspannungsmesser nicht immer die Möglichkeit der genauen unmittelbaren Ablesung des Isolationswiderstandes. Man verwendet deshalb für eine genaue Isolationsmessung am besten die Drehspulspannungsmesser mit einfacher Voltskala und ermittelt den Isolationswiderstand nach folgender Methode.

Der eigentlichen Messung geht eine Leitungsprüfung voraus, durch die festgestellt wird, daß auch wirklich die ganze Anlage an der Messung beteiligt ist (Bild 25). Gleichzeitig kann dabei aber auch die Netzspannung „E“ ermittelt und der Widerstand „R_V“ des Meßgerätes festgestellt werden. Beide Angaben sind zur Durchführung

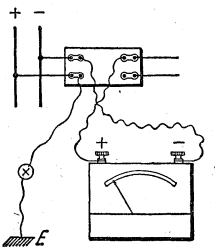


Bild 26. Isolationsmessung der negativen Leitung gegen Erde. Man erhält den Ausschlag em.

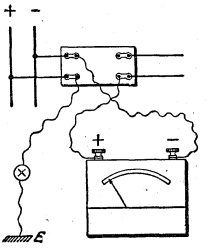


Bild 27. Isolationsmessung der positiven Leitung gegen Erde. Man erhält den Ausschlag ep.

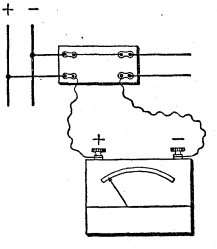


Bild 28. Isolationsmessung der positiven und negativen Leitungen gegeneinander. Man erhält den Ausschlag em/p.

der Isolationsmessung durchaus nötig. Ebenso richte man eine gute Erdverbindung her, indem man von einer Wasser- oder Gasleitung, einem Brunnenrohr, dem Eisengerüst des Gebäudes oder dergl. einen gut leitend mit dieser Erdungsstelle verbundenen Draht nach der Meßstelle hin verlegt.

Nachdem die Leitungsprüfung durchgeführt worden ist, entfernt man die Hilfsverbindung „H" und verfährt entsprechend den Bildern 26, 27 und 28.

Aus diesen Angaben errechnet sich der jeweilige Isolationswiderstand in Ohm = Gerätewiderstand mal $\frac{\text{Netzspannung} - \text{Ausschlag}}{\text{Ausschlag}}$

$$R = R_v : \frac{E - e}{e}$$

Beispiel: Es sei gefunden worden

1. Gerätewiderstand R_v (steht auf dem Gerät vermerkt) ..... 40 000 Ohm
2. Netzspannung E (bei der Leitungsprüfung gefunden) ..... 224 Volt
3. Ausschlag e_m (bei der Messung der negativen Leitung gegen Erde gefunden) 18 Volt
4. Ausschlag e_p (bei der Messung der positiven Leitung gegen Erde gefunden) 26 Volt
5. Ausschlag $e_{m/p}$ (bei der Messung der neg. Leitung gegen die pos. gefunden) 35 Volt

Dann ist der Isolationswiderstand

der neg. Leitung gegen Erde ..... $R_m = 40\,000 \times \frac{224-18}{18} = 458\,000$ Ohm

der pos. Leitung gegen Erde ..... $R_p = 40\,000 \times \frac{224-26}{26} = 304\,000$ Ohm

der neg. Leitung gegen die pos. ..... $R_{m/p} = 40\,000 \times \frac{224-35}{35} = 216\,000$ Ohm

Der Isolationswiderstand der Anlage gegen Erde ist vollkommen ausreichend, der der Leitungen gegeneinander entspricht dagegen nicht ganz den Verbandsvorschriften und könnte beanstandet werden.

2.) Isolationsmessungen mit dem Kurbelinduktor.

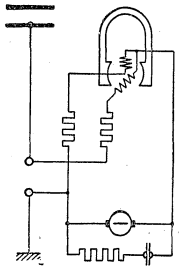


Bild 29. Schaltung des Kurbelinduktors.

Beim Isolationsmesser mit Kurbelinduktor wird die für die Isolationsmessung benötigte Spannung in einem Magnet-Induktor erzeugt. Als Anzeigegerät dient ein spannungsunabhängiges T-Spulsystem, dessen Anzeige von Spannungsschwankungen unabhängig ist. Beim Betrieb des Gerätes spielt es also keine Rolle, ob die Induktionskurbel etwas schneller oder langsamer gedreht wird. Die richtige Umdrehungszahl ist etwa 2½ je Sekunde (Grenzen zwischen 1½ und 3½ je Sekunde). In jedem Falle gibt der Zeiger den richtigen Meßwert an. Die bei den älteren Kurbelinduktoren bekannte Prüftaste ist in Fortfall gekommen, wodurch die Handhabung des Gerätes wesentlich vereinfacht ist. Der Isolationsmesser mit Kurbelinduktor wird mit zwei verschiedenen Meßspannungen und Meßbereichen hergestellt und zwar von 250 V/20 Megohm oder 500 V/50 Megohm. Die Abmessungen des Isolierstoffgehäuses betragen: 105 × 160 × 65 mm. Mit umgeklappter Kurbel kann das Gerät in dem mitgelieferten Stahlblechkasten aufbewahrt werden.

Bild 29 zeigt die Schaltung, Bild 30 die Meßskala und Bild 31 die Handhabung des Gerätes.

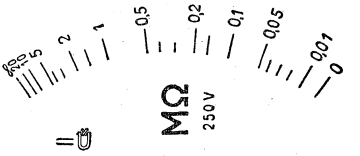


Bild 30. Skala des Kurbelinduktors.

Die Messung gestaltet sich grundsätzlich folgendermaßen: Das Gerät zeigt den zwischen

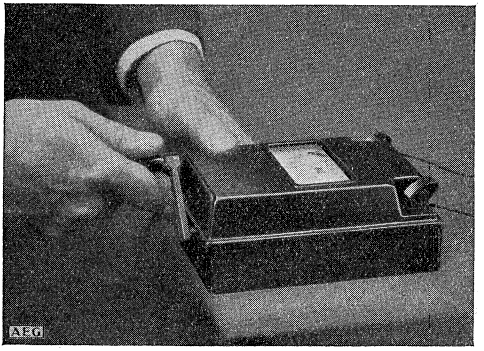


Bild 31. Handhabung des Kurbelinduktors.

den Klemmen liegenden Isolationswiderstand unmittelbar auf der Skala an. Zur Messung ist es also lediglich erforderlich, das zu überprüfende Leitungsstück elektrisch frei zu machen, d. h. es mittels Schalter oder Sicherungen je nach den vorliegenden Verhältnissen von den übrigen Netzteilen abzutrennen.

Soll der Isolationswiderstand eines Leiterstückes gegen Erde gemessen werden (Bild 32), so wird eine Klemme des Gerätes an den Leiter, die andere an Erde gelegt.

Soll der Isolationswiderstand zweier Leiterstücke gegeneinander bestimmt werden, so werden beide Klemmen an je einen Leiter gelegt.

Soll der Isolationswiderstand mehrerer Leiterstücke gemeinsam gegen Erde oder gegen einen anderen Leiter ermittelt werden, so sind die fraglichen Leiterstücke metallisch miteinander zu verbinden und an die eine Klemme des Isolationsmessers zu legen. Die zweite Klemme liegt an Erde bzw. dem anderen Leiter.

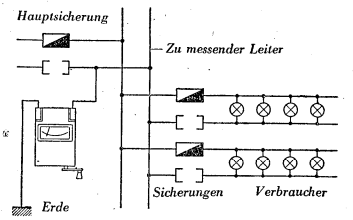


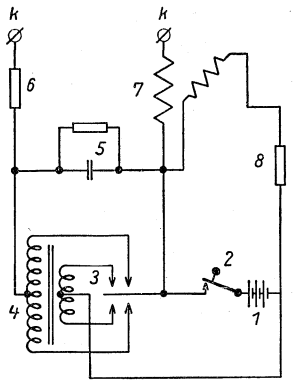
Bild 32. Isolationsmessung mit dem Kurbelinduktor.

3.) Isolationsmesser mit Umformer.

Bei der Handhabung des Isolationsmessers mit Kurbelinduktor sind beide Hände erforderlich, die eine hält das Gerät fest, während die andere die Induktorkurbel dreht. Um die Isolationsmessung noch einfacher zu gestalten und auch an schwer zugänglichen Arbeitsplätzen möglich zu machen, wurde der Isolationsmesser mit Umformer entwickelt. Bei ihm genügt die Betätigung eines Druckknopfes durch die eine Hand, während die andere für das Anlegen der Meßleitung frei bleibt (Bild 33). Der Isolationswert des betreffenden Leiterstranges wird auf der Skala eindeutig angezeigt. Die Meßspannung entsteht aus zwei Taschenlampenbatterien mit Hilfe eines Gleichspannungsumformers. Wird der Druckknopf betätigt, so arbeitet ein Zerhacker und formt die 8 V-Gleichspannung der Batterien in eine rechteckförmige Wechselspannung um. Diese Wechselspannung wird in einem Umspanner auf 500 V gebracht und durch einen parallel zum Zerhacker arbeitenden Schwingkontaktgleichrichter gleich-



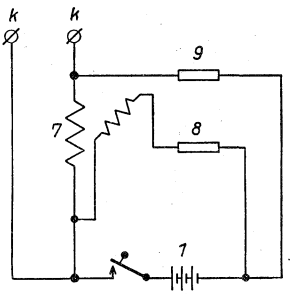
Bild 33. Handhabung des Isolationsmessers mit Umformer.



1 Batterie. 2 Einschaltknopf. 3 Unterbrecher. 4 Umspanner. 5 Glättungskreis. 6 Schutzwiderstand. 7 Meßwerk. 8 Abgleichwiderstand. k Anschlußklemmen.

Bild 34. Schaltung des Isolationsmessers mit Umformer.

gerichtet (Bild 34). Zur Glättung der entstehenden Gleichspannung von 500 V ist noch eine Kondensatorkette vorgesehen. Der Eigenverbrauch des Isolationsmessers mit Umformer ist sehr gering, so daß sich eine hohe Lebensdauer der Batterien ergibt. Es kann damit gerechnet werden, daß das Gerät bei häufigen Messungen für 3...4 Monate betriebsbereit ist. Will man nachprüfen, ob die Meßspannung infolge Nachlassens der Batterien nicht mehr ausreicht, so gibt ein mitgelieferter aufsteckbarer Glimmlampenprüfer hierzu die Möglichkeit. Leuchtet die Glimmlampe auf, so sind an den Meßklemmen noch 500 V vorhanden, bleibt die Glimmlampe dunkel, so müssen die Taschenlampenbatterien erneuert werden. Diese Erneuerung bietet keine Schwierigkeiten, da es sich um handelsübliche Batterien handelt. Der Isolationsmesser mit Umformer wird in einer Bereitschaftstasche geliefert; die Abmessungen betragen 200 × 120 × 85 mm. Als zusätzliche Annehmlichkeit ist noch ein **Leitungsprüfer** vorgesehen mit einem Niederohm - Meßbereich 0...50 Ohm, so daß bei 8 V Meßspannung Leitungsverbindungen usw. geprüft werden können (Bild 35).



1 Batterie. 7 Meßwerk. 8 Abgleichwiderstand 9 Nebenschlußwiderstand. k Anschlußklemmen.

Bild 35. Schaltung des Leitungsprüfers.

Die bei der Verwendung des Kurbelinduktors grundsätzlich angegebene Art der Messung des Isolationswiderstandes sei noch an einem Beispiel unter Verwendung des Umformergerätes erläutert.

Für die Messung macht man stets die Anlage spannungslos. Größere Anlagen trennt man auf den Verteilertafeln in einzelne Kreise auf.

Ein solcher Fall sei durch Bild 36 dargestellt. Man mißt dann den Gesamtisolationswiderstand dieser Anlage gegen Erde, indem man das Meßgerät mit dem Pluspol an einen Leiter und den Minuspol an Erde (Wasserleitung) legt. Sämtliche

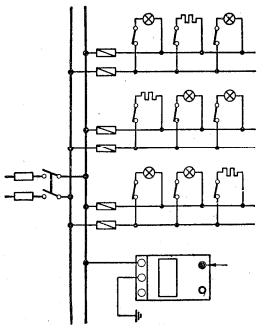


Bild 36.

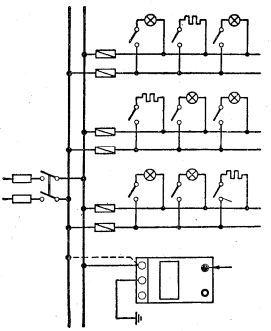


Bild 37.

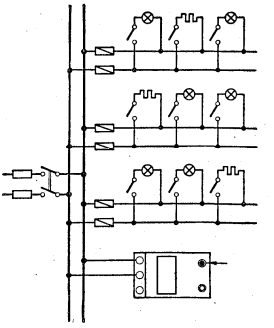


Bild 38.

Messungen des Isolationswiderstandes mittels des Isolationsmessers mit Umformer.

Stromabnehmer (Lampen, Motoren, Geräte) sind dabei eingeschaltet, so daß eine metallische Verbindung zwischen den beiden Leitern der zu messenden Anlage besteht. Erhält man bei dieser Messung einen größeren Widerstand in Ohm, als dem 1000-fachen Wert der Betriebsspannung entspricht, also bei 220 V Betriebsspannung einen größeren Widerstand als 220 000 Ohm = 0,22 Megohm, so ist mit Sicherheit der Isolationswiderstand für einen Leiter zwischen zwei Sicherungen ebenfalls größer als der zulässige Mindestwert, und man braucht keine weiteren Messungen gegen Erde mehr vorzunehmen.

Mißt man dagegen einen kleineren als den bezeichneten Wert, so muß man durch weitere Aufteilung der Anlage in Einzelkreise und durch weitere Messungen feststellen, welche der Teilstrecken eines Leiters einen kleineren als den zulässigen Mindestwert hat. Dazu sind die metallischen Verbindungen zwischen den Leitern aufzutrennen (Bild 37).

Es ist durchaus möglich, daß beide Pole einer Anlage einen ausreichenden Isolationswiderstand gegen Erde haben, daß aber die Isolation der einzelnen Leiter gegeneinander ungenügend ist. Es ist deshalb erforderlich, die Isolation der Leiter gegeneinander ebenfalls zu messen. Dabei ist der auf Seite 440 aufgeführte Punkt 3 der VDE-Vorschriften zu beachten. Die Schaltung zur Prüfung des Isolationszustandes zwischen zwei Leitern für die gesamte Anlage zeigt Bild 38. Bei schlechten Ergebnissen dieser Messung geht man dazu über, den Isolationszustand der einzelnen Teilstrecken zu messen, grundsätzlich in gleicher Weise, wie es bei der Messung der Isolation gegen Erde geschildert wurde.

Dieses Meßverfahren gibt ein sicheres Bild über den Isolationszustand einer Anlage. Es gestattet nicht nur die Feststellung, ob ein Fehler in einer Anlage vorhanden ist, sondern bei planmäßigem Vorgehen auch die Feststellung, wo der Fehler zu suchen ist. Damit ist die Behebung desselben und auch die Beseitigung von Gefahren möglich.

Die beiden vorgenannten Isolationsmesser dienen dem gleichen Zweck und unterscheiden sich lediglich in dem Aufbau und in der Handhabung. Welches der beiden Geräte zweckmäßig verwendet wird, hängt von den jeweiligen Betriebsumständen ab. Für Installateure und Betriebselektriker, die nur gelegentlich Isolationsmessungen durchführen und bei denen das Gerät längere Zeit unbenutzt bleibt, kommt der Isolationsmesser mit Kurbelinduktor in Betracht; er ist stets einsatzbereit und nicht auf Batterien angewiesen. Für häufige Messungen (Abnahmebeamte) oder bei Prüfungen in größeren Industrieunternehmen und in den Fällen, wo die Einhand-Bedienung des Gerätes von Bedeutung ist, also bei Verlegungsarbeiten in größeren Anlagen, auf Krangerüsten usw. wird zweckmäßigerweise der Isolationsmesser mit Umformer vorgezogen.

F. Meßgeräte für besondere Zwecke.

Drehfeldrichtungsanzeiger.

Es ist bekannt, daß ein Drehstrommotor bei falschem Anschluß im nichtgewünschten Drehsinn läuft. Das gleiche ist bei Zählern und bei Meßgeräten der Fall, mit dem Unterschied, daß beim Motor der Fehler offensichtlich in Erscheinung tritt, während bei Meßgeräten und Zählern irgend ein Meßwert angezeigt wird. Da die Richtigkeit dieses Meßwertes nicht unmittelbar nachgeprüft werden kann, kommt es vor, daß solche Geräte längere Zeit mit falschem Anschluß in Betrieb bleiben und erst bei gelegentlichen Prüfungen oder bei Störungen der falsche Anschluß entdeckt wird. Außerdem werden Montagen und das Fehlersuchen erleichtert, wenn die Phasenfolge im Drehstromnetz an allen Stellen eindeutig bekannt ist. Der **AEG-Drehfeldrichtungsanzeiger** gestattet die eindeutige Bestimmung der Phasenfolge. Außerdem gibt er sofort an, ob etwa eine Phase überhaupt im Anschluß fehlt. Seine Wirkungsweise beruht darauf, daß bei Sternschaltung dreier verschiedener Widerstände der Nullpunkt des Drehstromsystems nicht mehr mit dem Schwerpunkt des Spannungsdreieckes zusammenfällt. Ändert sich die Phasenfolge des

Drehstromsystems, so kippt der Nullpunkt spiegelbildlich zur Symmetrieachse des Spannungssystems um und zwischen ihm und den Ecken des Spannungsdreiecks treten verschieden große Teilspannungen auf. Die Größe dieser Teilspannungen kann durch Glimmlampen angezeigt und somit ein Rückschluß auf die Phasenfolge ermöglicht werden. Dieser Drehfeldrichtungszeiger hat den Vorteil, daß zu seinem Aufbau nur einige Schaltelemente erforderlich sind und daß er über bewegliche Teile nicht verfügt. Durch eine geschützte Anordnung der Glimmlampen ist auch deren Zerstörung nach Möglichkeit vermieden, so daß das Gerät den hohen Beanspruchungen im Betrieb und auf der Baustelle gewachsen ist.

Elektronenstrahl-Oszillograph (Schwingungsschreiber).

Sehr rasch verlaufende elektrische Vorgänge, z. B. die Wellenform eines Wechselstromes, lassen sich mit den auf Seite 442 beschriebenen Tintenschreibern nicht mehr kenntlich machen. Man bedient sich hierzu des Oszillographen, der von der AEG in einer handlichen leicht bedienbaren Bauart entwickelt worden ist, so daß derartige Messungen nicht nur im Versuchsfeld, sondern in jeder Anlage, auf Reisen und in Fahrzeugen durchgeführt werden können.

Der AEG-Elektronenstrahl-Oszillograph hat nicht nur einen praktisch trägheitslosen Zeiger (Lichtstrahl), sondern auch eine trägheitslose Steuerung, so daß sich periodisch verlaufende Vorgänge bis zu 10 MHz und mehr aufnehmen lassen.

Die Grundlage des Gerätes bildet die Braunsche Röhre (Bild 39).

Die aus einer Glühkathode austretenden Elektronen werden durch hohe Gleichspannungen beschleunigt und durch elektronenoptische Anordnungen zum Strahl gebündelt, der beim Auftreffen auf einen Leuchtschirm einen Lichtfleck erzeugt. Diesen Zeiger kann man trägheits- und leistungslos ablenken, wenn man den Strahl durch veränderliche elektrische oder magnetische Felder schickt.

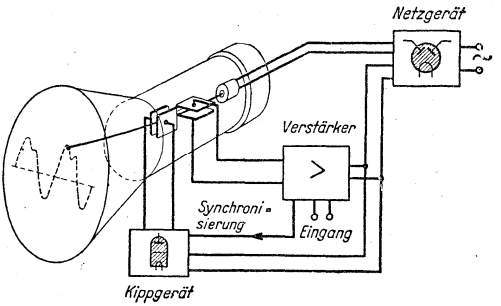


Bild 39. Aufbau des Elektronenstrahl-Oszillographen.

Zur elektrischen Ablenkung sind in der Röhre zwei zueinander senkrechte Kondensatorplattenpaare angebracht. Dem einen Plattenpaar wird die durch den aufzunehmenden Vorgang erzeugte Spannung (Meßspannung) zugeführt. Soll der Vorgang nach der Zeit zerlegt werden, so wird an das zweite Plattenpaar eine sägezahnförmige Spannung (Kippspannung) gelegt, die den Strahl regelmäßig und der Zeit proportional in der zur Meßablenkung senkrechten Richtung ablenkt (Zeitablenkung). So entsteht auf dem Leuchtschirm die Kurve des zeitlichen Verlaufs des Vorgangs. Wichtig ist dabei, daß nicht erst einzelne Meßpunkte zu einer Kurve zusammengesetzt zu werden brauchen, sondern daß durch das Aufzeichnen der ganzen Kurve sofort anschaulich und übersichtlich das Gesamtergebnis gezeigt wird, wodurch die Meßdauer äußerst gering wird.

Die Elektronenstrahlröhre ist mit einem Netzanschlußgerät zusammengebaut, das die nötigen Betriebsspannungen liefert, ferner mit Einrichtungen zur Verstärkung der Meßspannung, zur Erzeugung der Kippschwingungen für die Zeitablenkung, zur Synchronisierung mit Meß- oder Netzspannung, zur stufenlosen Regelung der Frequenz. Um zwei Leuchtschirmbilder in ihren Beziehungen zueinander gleichzeitig beobachten zu können, wurde die Zweistrahlröhre mit vier getrennten Plattenpaaren und ein entsprechender Oszillograph entwickelt.

Es sollen nicht nur periodische Vorgänge untersucht werden, sondern auch sehr schnelle einmalige; dazu mußten Vorrichtungen angebracht werden, die eine Auslösung der Zeitablenkung und eine Hell-Dunkel-Steuerung des Lichtflecks durch den Meßvorgang ermöglichen. Ferner ist wesentlich, daß photographische Aufnahmen gemacht werden können, wozu erstens eine Nachbeschleunigungseinrichtung zur Steigerung der Fleckhelligkeit und zweitens Photographier- und Registriereinrichtungen geschaffen wurden. Endlich lassen sich auch Leuchtschirmbilder, z. B. für Vorträge in größeren Hörsälen, abgeben, wozu ebenfalls gesteigerte Lichtfleckhelligkeit nötig ist und besondere Projektionseinrichtungen entwickelt wurden.

Das Gerät wird in mehreren Formen hergestellt. Bild 40 zeigt den Klein-Oszillographen. Mit dem größten z. Zt. hergestellten Gerät lassen sich gleichzeitig 5 Vorgänge beobachten und aufzeichnen.

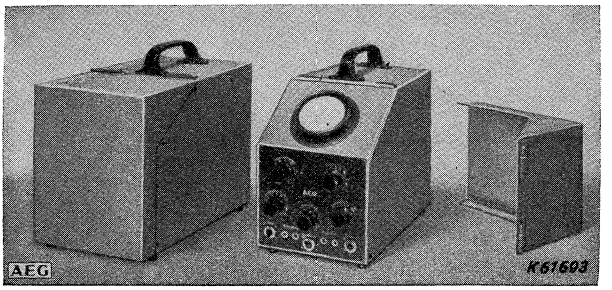


Bild 40.
Klein-Oszillograph, geschlossen und mit abgenommener Schutzkappe.

Photozellen-Geräte

können neben ihrer Verwendung als Steuergeräte in Lichtanlagen und für die Betätigung von motorischen und Anzeigevorrichtungen für den Betrieb von Zählwerken verwendet werden. Sie dienen zum Zählen von Gegenständen bei der Fertigung am laufenden Band, insbesondere von frischgestrichenen oder sehr leichten Gegenständen, von Kisten, Flaschen, Packungen und dergl. Die zur Betätigung der Zählwerke benötigten Impulse werden durch Unterbrechung eines Lichtstrahles oder Änderungen des zurückgeworfenen Lichtstromes erzeugt. Mit dem Kleinlichtrelais als Impulsgeber und dem zugehörigen Rollenzählwerk lassen sich 5 Zählungen je s erreichen. Durch Verwendung eines Zeigerzählwerkes in Verbindung mit dem entsprechenden Lichtrelais kann die Zahl der Zählungen auf 20 und mehr je s gesteigert werden. Diese Zählvorrichtung kommt für das Zählen großer Mengen kleiner und leichter Gegenstände in Frage z. B. Papierbogen, Zigaretten, Zigarren, Banknoten usw.

Über die Verwendung der Photozelle als **Beleuchtungsmesser** und im Dämmerungsschalter siehe den Abschnitt „Lichttechnik".

Fehlerortsbestimmung bei Erdkabeln.

Die Meßmethoden und Geräte für die Bestimmung des Fehlerortes bei Erdkabeln sind im Abschnitt „Verlegung von Bleikabeln" beschrieben.

Schaltungen und Sinnbilder

für Meßgeräte s. Seite 140...143.

G. Elektrizitätszähler.

Beglaubigung der Zähler und ihre Fehlergrenzen.

Elektrizitätszähler dienen zur Messung und Verrechnung der verbrauchten Energie zwischen Stromlieferant und Stromverbraucher.

Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) als Kontrollstelle nimmt eine sogenannte Systemprüfung vor, die darin besteht, daß sie eine Auswahl von Zählern verschiedener Größen (im allgemeinen fünf Stück) einer sehr scharfen Prüfung unterzieht. Die zu prüfenden Zähler sind mit genauen Beschreibungen und Angaben über die Bauart an die PTR einzureichen.

Die formale Bedeutung der Systemprüfung besteht darin, daß die PTR auf Grund der Prüfungsergebnisse über die Zulassung des untersuchten Zählersystems zur amtlichen Beglaubigung entscheidet. Die Zulassung erfolgt natürlich nur dann, wenn das Gesamtbild der Eigenschaften des Zählersystems erkennen läßt, daß es sich um ein hochwertiges, dem jeweiligen Stande der Zählertechnik entsprechendes Fabrikat handelt, das insbesondere auch eine hinreichende Unveränderlichkeit der Angaben gewährleistet.

Die PTR veröffentlicht das Ergebnis ihrer Untersuchungen im Auszug im „Reichsanzeiger" und in der Fachzeitschrift „ETZ" und erteilt den zur Beglaubigung zugelassenen Systemen eine Nummer als sogenanntes „Systemzeichen", und zwar mit dem nebenstehenden Zeichen  . Dieses Zeichen wird auf allen Zählern des betreffenden Systems vom Fabrikanten angebracht; es enthält auch die Nummer, unter der das System als beglaubigungsfähig erklärt ist, also z. B.  . Das Systemzeichen mit eingeschriebener Nummer hat also gleichzeitig die Bedeutung eines Gütezeichens. Der damit versehene Zähler gilt als ein den gesetzlichen Bestimmungen entsprechendes Meßgerät.

Man unterscheidet zwischen Beglaubigungsfehlergrenzen und Verkehrsfehlergrenzen. Die Beglaubigungsfehlergrenzen sind ab 1. April 1935 enger gesetzt worden, sie stellen das Höchstmaß der zulässigen Meßfehler dar, die der Zähler bei der Einstellung und Nachprüfung aufweisen darf. Bei jeder Prüfung sind die Zähler so genau wie möglich einzustellen; auf jeden Fall müssen aber die Abweichungen vom Sollwert innerhalb der Beglaubigungsfehlergrenzen liegen. Natürlich ist innerhalb dieser Grenzen jede absichtliche Einstellung zugunsten einer Partei unstatthaft und strafbar.

Die neuen, ab 1. April 1935 gültigen Beglaubigungsfehlergrenzen lassen sich aus folgenden Formeln errechnen:

$$\pm F = 3 + 0{,}3\,\frac{P_N}{P} \text{ bei Gleichstrom,}$$

$$\pm F = 3 + 0{,}05\,\frac{P_N}{P} + 0{,}5\,(1 + 0{,}1\,\frac{P_N}{P})\,\mathrm{tg}\,\varphi \text{ bei Wechselstrom,}$$

wobei F den Fehler in % des jeweiligen Verbrauches P, P_N die Nennlast, P die jeweilige Last und φ den Phasenverschiebungswinkel bedeuten.

Für die verschiedenen Belastungen des Zählers sind die „Beglaubigungsfehlergrenzen" für Gleichstromzähler aus Bild 41 und für Wechselstromzähler aus Bild 42 zu ersehen.

Die Erfahrung hat nun gezeigt, daß ein ursprünglich „richtig" ein-

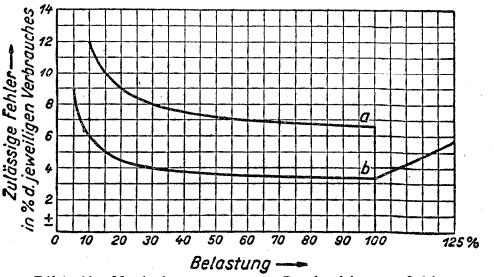


Bild 41. Verkehrs- (a) und Beglaubigungsfehlergrenzen (b) für Gleichstromzähler.

gestellter Zähler im Laufe der Zeit Abweichungen von der Richtigkeit zeigen kann. Dieser Fehler ist teilweise in den inneren Eigenschaften des Zählers (Reibung usw.) begründet, zum Teil aber auch in äußeren Einflüssen, wie Kurzschlüssen und dergleichen; für diese Fehler kann der Stromlieferant jedoch nicht verantwortlich gemacht werden.

Für solche Fälle sind besondere Verkehrsfehlergrenzen festgelegt, die lediglich die Strafbarkeit beim unbeabsichtigten Gebrauch unrichtiger Meßgeräte einschränken. Aus der Schaffung der Verkehrsfehlergrenzen darf nicht die Folgerung gezogen werden, daß Zähler mit beliebig großen Fehlern verwendet werden dürfen, wenn diese nur innerhalb der Verkehrsfehlergrenzen liegen. Vielmehr erwächst für den Elektrizitätslieferer die Verpflichtung, die abgegebene elektrische Arbeit richtig zu messen, richtig, soweit dies nach dem Stande der Technik möglich ist.

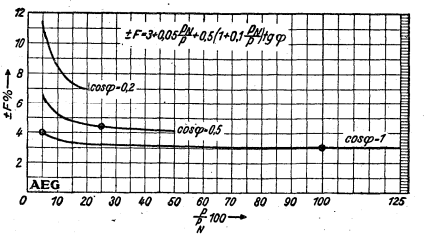


Bild 42. Beglaubigungsfehlergrenzen für Wechselstromzähler, F in Abhängigkeit von $\frac{P}{P_N}$

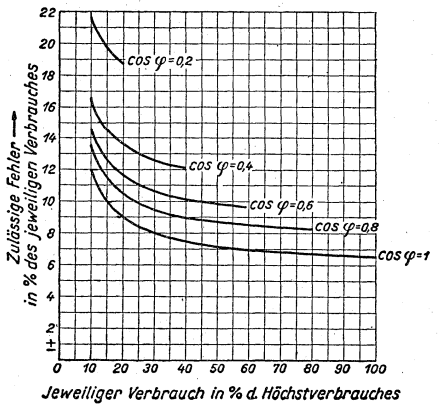


Bild 43. Verkehrsfehlergrenzen für Wechselstromzähler, F in Abhängigkeit von $\frac{P}{P_H}$

Alle zugunsten einer Partei absichtlich falsch eingestellten Zähler sind im Sinne des Gesetzes unrichtig, auch wenn die Fehler innerhalb der Verkehrsfehlergrenzen liegen.

Die Verkehrsfehlergrenzen (in % des jeweiligen Verbrauches) kann man aus folgenden Formeln bestimmen:

$$\pm F = 6 + 0{,}6\,\frac{P_H}{P}$$

bei Gleichstrom,

$$\pm F = 6 + 0{,}6\,\frac{P_H}{P} + 2\,\mathrm{tg}\,\varphi$$

bei Wechselstrom.

In den Formeln bedeutet PH die Höchstlast, die nicht mit der auf dem Kappenschild des Zählers angegebenen Nennlast übereinstimmt, sondern dem jeweiligen Anschlußwert der Anlage entspricht.

Die Diagramme (Bilder 41 und 43) geben eine genaue Übersicht über die Werte der zulässigen Verkehrsfehlergrenzen.

Einteilung der Zähler.

Die Elektrizitätszähler werden in folgende Gruppen eingeteilt:

I. nach der Stromart in Gleich-, Wechsel- und Drehstromzähler,

a) für Gleichstrom:

Wattstundenzähler mit rotierendem Anker (Bild 44),
Amperestundenzähler (Bild 45),

b) für Einphasen-Wechselstrom:
Wattstundenzähler (Bild 46),

c) für Drehstrom:
Wattstundenzähler für Dreileiteranlagen (Bild 47),
Wattstundenzähler für Drei- und Vierleiteranlagen (Bild 48 u. 49).

II. nach der Art der Messung in Wattstunden- und Amperestundenzähler, ferner in direkt messende und solche mit Strom- bzw. Spannungswandlern.

Gleichstromzähler werden bis etwa 20000 A und 1500 V gebaut. Die Messung höherer Gleichstromleistungen kann man auch mit Zählern niedriger Nennstromstärke unter Verwendung geeigneter Nebenwiderstände bzw. Gleichstromwandler vornehmen.



Bild 44.
Wattstundenzähler für Gleichstrom, mit rotierendem Anker. Form LRc.



Bild 45.
Amperestundenzähler für Gleichstrom, Form AS, in Isolierstoffgehäuse.

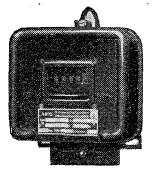


Bild 46.
Wechselstromzähler, Form J 6, in Metall- oder Isolierstoffgehäuse.

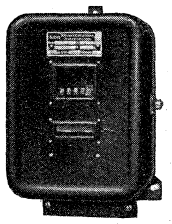


Bild 47.
Drehstromzähler, Form DO 8, für Dreileiteranlagen.



Bild 48.
Drehstromzähler, Form DU 8, für Drei- und Vierleiteranlagen.



Bild 49.
Drehstromzähler, Form DU 9, für Drei- und Vierleiteranlagen in Isolierstoffgehäuse.

Die Zähler für ein- und mehrphasigen Wechselstrom werden für unmittelbaren Anschluß nur bis 100 A und 550 V gebaut. Für höhere Stromstärken und Spannungen schaltet man einen Zähler für 5 A und 100 bzw. 110 V als „Sekundärzähler" mit einem Strom- bzw. Spannungswandler zusammen und erhält so ein Aggregat, das je nach der Größe der Wandler für Messungen bis 15000 A und 120000 V ausreicht.

III. nach dem Tarif, für den sie Verwendung finden, in normale kWh-Zähler und Tarifzähler.

Tarife.

Die Eigenart der Elektrizität, sich nicht wie jedes andere Handelsobjekt in beliebiger Menge aufspeichern zu lassen, bildet die Grundlage der Tarifpolitik im Verkauf elektrischer Arbeit. Die Erzeugung und der Verbrauch des elektrischen Stromes fallen zeitlich immer zusammen. Einem nahezu stets gleichbleibenden Angebot an elektrischer Energie, das dem Maß der Leistungsfähigkeit der bereitstehenden Maschinenanlagen entspricht, steht eine stark wechselnde Nachfrage gegenüber.

Man hat nun verschiedene Tarifformen geschaffen, die eine gute Anpassung der veränderlichen Belastungskurve an die feste Erzeugerleistung bezwecken sollen.

Zwischen der Zählertechnik und der Tarifpolitik der Elektrizitätswerke besteht eine innige Verkettung. Die verschiedenartigen Tarife konnten erst durch Schaffung der sich ihnen anpassenden Zählerbauarten praktische Auswertung finden. Infolgedessen dient der Zähler neben seiner Hauptaufgabe, die elektrische Energie zu messen, in seinen verschiedenen Tarifkonstruktionen auch dazu, auf einen gleichmäßigen Verlauf der Belastungskurve und damit auf eine bessere Ausnutzungsmöglichkeit der Erzeugeranlagen günstig einzuwirken.

Der Grundgebührentarif.

Da die Erzeugungs- und Verteilungsanlagen für den täglich nur wenige Stunden andauernden höchsten Bedarf entsprechend bemessen sein müssen, sind die festen Kosten, d. h. die Kosten für das Kapital, das in den gesamten Anlagen investiert wurde, bei den Gestehungskosten der Kilowattstunden in weit höherem Maße von Einfluß als bei der Herstellung stapelfähiger Waren. Die festen Kosten bilden daher einen wesentlichen Teil der Kilowattstunden-Verkaufspreise. Bei gleichbleibender Erzeugerleistung ist der Anteil der festen Kosten bei der einzelnen kWh um so größer, je geringer die Anzahl der verbrauchten kWh ist, und um so kleiner, je mehr kWh verkauft werden.

Für jede Anschlußanlage muß, gleichgültig, ob Elektrizität verbraucht wird oder nicht, eine entsprechende Maschinenleistung bereitstehen. Es entstehen also dem Elektrizitätswerk bestimmte feste Kosten allein für die Bereitschaft, und diese Erkenntnis führt zum sogenannten Grundgebührentarif, nach dem vom Verbraucher bestimmte feste Gebühren verlangt werden, entsprechend dem Anschlußwert seiner Anlage oder der wirklich erreichten Höchstlast. Außerdem entstehen Kosten für die verbrauchte elektrische Arbeit. Die Höhe der Grundgebühr wurde bisher unter Zuhilfenahme der verschiedensten Vergleichswerte festgelegt, z. B. Zahl oder Größe der Zimmer, Anschlußwert des Zählers oder Zahl der Brennstellen und Steckdosen usw. Um eine einwandfreie Bestimmung der Grundgebühr zu erzielen, bedient man sich immer mehr der Angaben eines sogenannten Höchstlasttarifzählers, der den in einem Monat erreichten Höchstwert der mittleren Belastungen anzeigt, die sich bei einer periodischen Auslösung des Registrierwerkes nach 10, 15, 30 oder 60 Minuten ergeben. Der Höchstlastanzeiger wird entweder in den Zähler eingebaut (Bild 50) oder auch für sich getrennt geliefert (Bild 51).

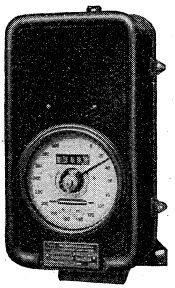


Bild 50. Wechselstromzähler, Form AOLJ 6, mit Höchstlastanzeiger.

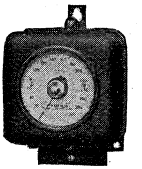


Bild 51. Kleiner Höchstlastanzeiger, Form KM 1.

Der Mehrfachtarif.

Ein anderer von den Elektrizitätswerken begangener Weg zur besseren Ausnutzung ihrer Maschinenanlagen und dadurch möglichen Herabsetzung der Verkaufspreise ist die Anwendung des Wirtschaftsgesetzes, daß sich der Preis nach Angebot und Nachfrage richtet. In Zeiten geringer Belastung der Maschinen wird also der Strompreis verringert, in Zeiten starker Belastung gegebenenfalls erhöht.

Die zeitabhängige Strompreisbemessung erfordert getrennte Aufzeichnungen der in bestimmten Zeitgrenzen auftretenden Verbrauchswerte. Beim Doppeltarif muß also der Zähler zwei Zählwerke besitzen (Bild 52), beim Dreifachtarif drei Zählwerke.



Bild 52. Doppeltarifzähler, Form UJ 6, für Wechselstrom.

Die Umschaltung der Zählwerke wird durch einen von einer Schaltuhr betätigten Mechanismus zu den an jedem Tag durch die Uhr genau festgelegten Zeitpunkten bewirkt. In die Reihe der Mehrfachtarifzähler gehört auch der Nachtstromzähler (Bild 53), der die nachts zur Verfügung stehende Überschußenergie registriert, die zu Vorzugspreisen abgegeben wird. Ein von einer Uhr gesteuerter Sperrschalter schaltet die in dem Meßkreis des Nachtstromzählers liegenden Verbrauchsgeräte (Heißwasserspeicher, Waschkessel, Futterkocher usw.) nur in den Nachtstunden ein. Die angezeigten kWh werden mit dem niedrigen Nachtstromtarif berechnet.

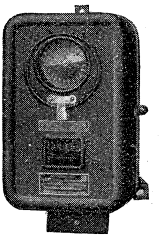


Bild 53. Nachtstromzähler, Form LTJ 6, mit eingebautem Synchronmotor.

Der Überverbrauchtarif.

Bei Anwendung des Überverbrauchtarifs verwendet man sogenannte Spitzen- oder Überverbrauchzähler, die nur den über einer als normal vereinbarten Leistungsentnahme liegenden Stromverbrauch zählen (Bild 54). Unterhalb der Pauschalgrenze wird das Drehmoment des Zählers durch das mechanische Gegendrehmoment einer einstellbaren Spannfeder aufgehoben. Erst bei zunehmender Belastung wird das Zählerdrehmoment stärker, überwindet das Gegendrehmoment, und die Zählerachse beginnt sich zu drehen. Bei einer anderen Bauart wird von den Umdrehungen der Zählertriebscheibe fortlaufend über ein Planetengetriebe eine bestimmte Anzahl Umdrehungen abgezogen, die von einem Zeitlaufwerk erzeugt werden und der Höhe der Pauschalleistung entsprechen. Der Unterschied dieser beiden entgegenwirkenden Umdrehungen wird als Überverbrauch auf einem Zählwerk registriert.

Der vom Spitzenzähler angezeigte Überverbrauch wird zu erhöhtem Preise abgegeben, während die Verbrauchswerte, die unterhalb der Grundlastgrenze liegen, meistens pauschal abgegeben werden. Auf diese Weise soll der Konsument dazu angeregt werden, seine Spitzenwerte einzuschränken und seine Energieentnahme möglichst gleichmäßig auf die Tages- und Nachtstunden zu verteilen.



Bild 54. Spitzenzähler, Form HJ 6.

Der Maximumtarif.

Der Maximumtarif soll dazu beitragen, bei größeren Abnehmern die Entwicklung hoher Spitzen zu verhüten. Bei seiner Anwendung wird der Preis je kWh nicht von vornherein festgelegt, sondern davon abhängig gemacht, wie hoch die höchste Belastung war, die während des Betriebsmonats aufgetreten ist. Der Maximumtarif kann auch so gehandhabt werden, daß entsprechend dem Verhält-

nis kWh gesamt: kW max Rabatte auf die Stromrechnung gewährt werden. kW max = mittlere Höchstlast, die von einem Höchstlasttarifzähler innerhalb einer Ableseperiode angezeigt wird (siehe Abschn. Grundgebührentarif).

Die tarifliche Erfassung des Blindverbrauchs.

Wegen des ungünstigen Einflusses des Blindverbrauchs auf die Energieübertragung ist es berechtigt, von den Abnehmern für den Blindverbrauch einen Zuschlag zu verlangen. Der Blindverbrauch wird von besonderen Blindverbrauchszählern gemessen. Er ist in dem Abschnitt „Erklärung des Leistungsfaktors" ausführlich erläutert.

Außer den vorstehenden Tarifzählern gibt es noch eine ganze Anzahl Sonderzähler, die den verschiedensten Sondertarifen und besonderen Zwecken dienen.

Münzzähler.

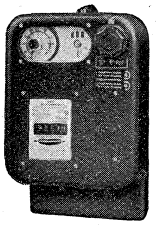


Bild 55. Wechselstrommünzzähler, Form FS2J6, für allmählichen Grundgebühreneinzug, in Isolierstoffgehäuse.

Ein wertvoller Förderer des Stromverbrauchs ist von jeher der Münzzähler (Bild 55).

Seine Anwendung bewirkt die Strombezahlung im voraus, vereinfacht die Geldeinziehung und sichert auch die reibungslose Tilgung von Stromschulden sowie Abzahlungsraten für Geräte. — Wechselstrom-Münzzähler werden von der AEG mit Isolierstoffgehäuse geliefert, das größten Berührungsschutz gewährleistet.

Durch das beim neuen AEG-Münzzähler angewandte Baukastenprinzip wird ermöglicht, den Einfachtarif-Münzzähler mit Einbau des Synchronmotors und zugehörigen Laufwerks in einen Münzzähler mit allmählichem Gebühreneinzug umzuändern. Ebenso kann man einen einfachen Münzzähler in einen Doppeltarifzähler umändern und umgekehrt.

Das Elektrizitätswerk ist also in der Lage, die Münzzähler jeweils so umzuwandeln, wie sie benötigt werden.

Zeitzähler.

Der neue elektrische Zeitzähler der AEG (Bild 56) enthält einen Synchronmotor. Er ermöglicht infolge seines niedrigen Preises zahlreiche Anwendungen. Das wichtigste Gebiet des Zeitzählers ist die Betriebskontrolle. Kann mit festen Leistungen gerechnet werden oder sind mittlere Werte bekannt, so empfiehlt sich, an Stelle der entsprechenden kWh-Zähler die einfachen und billigen Zeitzähler einzubauen.



Bild 56. Zeitzähler, Form LZ.

Strombegrenzer.

Bei dem Pauschaltarif findet eine Messung der entnommenen Energie nicht statt, sondern die Verrechnung erfolgt hier zu einem vereinbarten Pauschalbetrag, der einer bestimmten Höchstbelastung entspricht. Eine Überschreitung dieser Grenze wird durch den Einbau eines Strombegrenzers (Bild 57) unmöglich gemacht. Dieses Gerät unterbricht bei Überschreitung der festgesetzten Stromstärke die Leitung in der Weise, daß das Licht der Lampen flackert.

Der Festmengentarif.

Der Festmengentarif ist ein Grundpreistarif nach der „bestellten" Leistung. Der Grundpreis ist nur für die gewöhnlich gebrauchte, „bestellte" Leistung zu bezahlen. Innerhalb dieser Leistung gilt der niedrige Arbeitspreis. Für den Verbrauch, der bei Nichteinhaltung der bestellten und bezahlten Leistung entnommen wird, tritt ein höherer kWh-Preis, beispielsweise der sonst übliche Zählertarif, in Kraft.

Beim Festmengenzähler wird im Gegensatz zum Überverbrauchzähler nicht der Überverbrauch allein, sondern der Gesamtverbrauch während der Dauer der Überlastungen registriert. Dadurch ergibt sich, daß kurzzeitige Überlastungen verhältnismäßig billig, langanhaltende Überlastungen aber teurer werden, wobei ein verstärkter Druck darauf ausgeübt wird, daß die gewöhnlich gebrauchte Leistung mit Sicherheit voll bestellt wird.

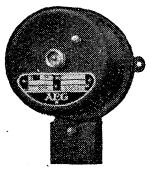


Bild 57. Strombegrenzer, Form Bi.

Der Festmengenzähler, das AEG-Tarifgerät System Ferrari, arbeitet nach folgender Überlegung: Für jede „bestellte" Leistung gibt es eine bestimmte Menge von kWh, die z. B. in 15 min verbraucht werden darf. Das Tarifgerät System Ferrari registriert nun mit Hilfe einer Zeitkontrolle die „Festmengen", die schneller, also in weniger als 15 min, verbraucht wurden, als „Überlastungs-Festmengen". Diese Einheiten stellen reine Kilowattstunden (kWh) dar.

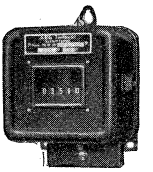


Bild 58. Tarifzähler, Form TG 10.

Der in dem Tarifgerät System Ferrari Form TG 10 (Bild 58) ohnedies vorhandene Synchronmotor ist in dem Gerät TG 20 mit einer 24-Stunden-Scheibe ausgerüstet, wodurch es möglich ist, die Überlastungskontrolle und die Registrierung von Überlastungsfestmengen in bestimmten Zeiten (z. B. nachts) auszusetzen.

Montage der Zähler.

Die Zähler müssen so aufgehängt werden, daß eine möglichst bequeme Ablesung des Zählerstandes erfolgen kann. Hierzu gehört, daß der Raum, der für den Zähler bei der Installation der Anlage vorgesehen wird, möglichst hell ist, damit nicht Fehler bei der Aufnahme durch den Ableser gemacht werden. Am zweckmäßigsten ist es, den Zähler in Augenhöhe anzubringen.

Ferner muß eine Wand gewählt werden, die eine lotrechte Aufhängung des Gerätes ermöglicht. In alten Häusern, namentlich in kleinen Städten und auf dem Lande, stehen die Wände häufig so schief, daß der Zähler nicht lotrecht montiert werden kann. Dies hat bei Wechselstromzählern weniger Bedeutung als bei Gleichstromzählern, bei denen unter Umständen auf diese Weise eine merkliche Fehlerquelle in die Messung hineingebracht wird.

Man darf ferner die Zähler nicht dem Einfluß äußerer Einwirkungen aussetzen, die sowohl die Genauigkeit und Empfindlichkeit des Gerätes beeinträchtigen, als auch seine Lebensdauer verkürzen.

Der Zähler gehört nicht in den Kohlenkeller, wo, trotz der sorgfältigsten Abdichtung, im Laufe der Jahre doch Staub eindringt, der die Meßgenauigkeit ungünstig beeinflußt. Ebenso muß Holzstaub (in Sägewerken) der Zutritt ins Innere des Zählers dauernd verwehrt bleiben. Man darf dabei nicht außer acht lassen, daß der Zähler durch den Stromdurchgang erwärmt wird und sich bei der Ausschaltung der Anlage wieder abkühlt. „Der Zähler atmet", wie die Fachleute sagen und saugt dadurch feine Teilchen aus der ihn umgebenden Luft an. Wenn schon der Zähler in einem Raum, in dem die Luft von feinem Staub erfüllt ist, aufgehängt werden muß, dann soll man ihn in ein Schutzgehäuse aus Holz oder Blech einschließen.

Besonders schädlich für die Geräte ist feuchte oder säurehaltige Luft. Es bedarf kaum eines besonderen Hinweises, daß in solchen Räumen die Zähler einer sicheren Zerstörung ausgesetzt sind.

Der Montageort des Zählers soll auch nach Möglichkeit erschütterungsfrei sein. Man wird also den Zähler nicht dort hinhängen, wo er z. B. durch vorüberfahrende schwere Wagen erschüttert wird, und auch nicht in die Nähe einer Heizungsanlage. Wenn der Einfluß stärkerer Erschütterungen auf den Zähler nicht zu vermeiden ist, so ist die Verwendung einer federnden Aufhängevorrichtung zu empfehlen.

Endlich müssen auch mechanische Störungsquellen bei der Wahl des Aufhängeortes ausgeschlossen bleiben. Man darf z. B. den Zähler nicht hinter einer Tür anbringen, die beim Öffnen gegen ihn schlägt und die Kappe verbeult, die dann unter Umständen gegen den beweglichen Teil gedrückt wird und seine Geschwindigkeit vermindert.

Die Elektrizitätswerke haben ein begreifliches Interesse daran, sich gegen die widerrechtliche Entnahme von elektrischer Energie, den Stromdiebstahl, zu schützen. Am meisten gefährdet ist natürlich die Stelle, an der die Leitungen in den Zähler eingeführt werden. Die Stromdiebe wissen eine noch so kleine Blöße der Anschlußklemmen auszunutzen, um durch Überbrückung den Zähler außer Wirkung zu setzen. Einen wirksamen Schutz gegen unbefugte Zugriffe bilden die plombierbaren Klemmendeckel, die die Anschlußklemmen dicht abschließen. Man kann auch besondere verlängerte Klemmendeckel verwenden, die die unteren Befestigungslaschen des Zählers abdecken.

Bei Gruppenaufhängung von Zählern für verschiedene Stromabnehmer empfiehlt es sich, die Zähler durch kleine Schilder zu kennzeichnen, die von dem Abnehmer nicht entfernt werden können.

Schaltbilder.

Nach den Regeln und Normen des VDE für Elektrizitätszähler.

Als Normalschaltungen für Elektrizitätszähler gelten die Schaltbilder von Bild 59 bis 68 (1 bis 10)**. Das numerierte Schaltbild wird im Klemmendeckel des betreffenden Zählers angeordnet.

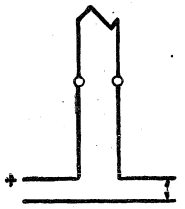


Bild 59 (1)**. Gleichstrom-Amperestundenzähler im +-Leiter.

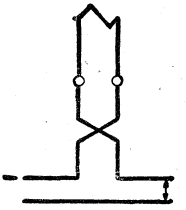


Bild 60 (2)**. Gleichstrom-Amperestundenzähler im —-Leiter.

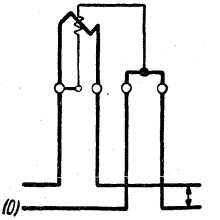


Bild 61 (3)**. Wattstunden-Zweileiterzähler (Gleich- oder Wechselstrom)*.

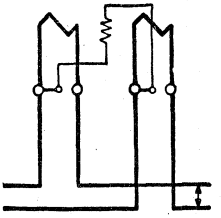


Bild 62 (4)**. Wattstunden-Zweileiterzähler (Gleich- oder Wechselstrom), doppelpolig, in Anlagen ohne geerdeten Nullleiter. (Sonderschaltung nur für Ausnahmefälle).

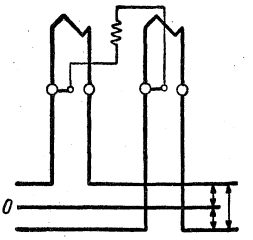


Bild 63 (5)**. Wattstunden-Dreileiterzähler Gleich- oder Wechselstrom) (Außenleiteranschluß).

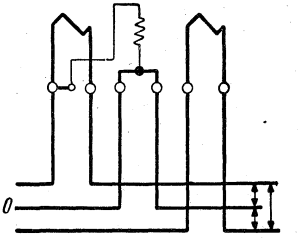


Bild 64 (6)**. Wattstunden-Dreileiterzähler Gleich- oder Wechselstrom)* (Nullleiteranschluß).

* Der äußere Anschluß des Spannungskreises kann anstatt durch zwei Drähte auch durch einen Draht vorgenommen werden.

** Die in Klammern stehenden Zahlen entsprechen den Bildnummern in den Normen des VDE.

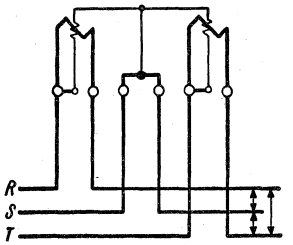


Bild 65 (7)**. Drehstromzähler ohne Nulleiter*.

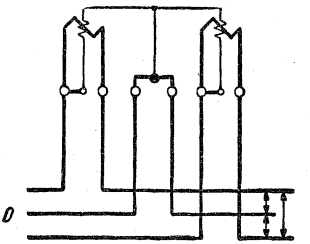


Bild 66 (8)**. Zähler zum Anschluß an ein Vierleiternetz, wobei nur zwei Außenleiter und der Nulleiter benutzt werden*.

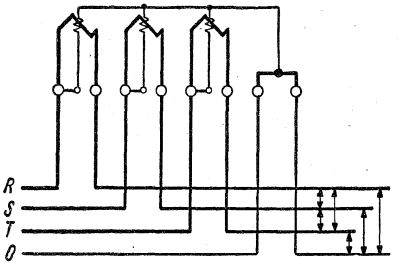


Bild 67 (9)**. Drehstromzähler mit Nulleiter*.

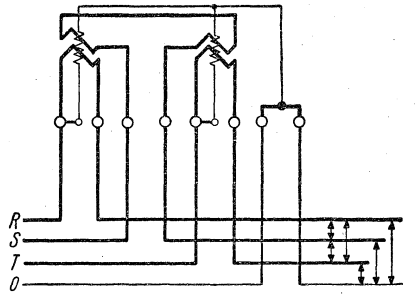


Bild 68 (10)**. Drehstromzähler mit Nulleiter (mit nur 2 Spannungsspulen)*.

Sofern aus meßtechnischen Gründen Abweichungen von den Normalschaltungen vorgenommen werden müssen, ist durch eine besondere Aufschrift auf dem Zähler darauf hinzuweisen.

Einstellung.

Unter Einstellung von Zählern versteht man ihre Vergleichung mit anderen Meßgeräten, die richtig anzeigen. Dies kann auf zwei Arten geschehen.

Erstens kann der Zähler mit einem anderen Zähler in Reihe geschaltet und nach einer nicht zu knapp bemessenen Zeit abgelesen werden. Die Differenz beider Werte ergibt seinen Fehler.

Die zweite Art der Einstellung ist die Vergleichung mit einem Leistungsmesser. Man schaltet den Zähler hinter den Leistungsmesser und hält die Belastung L während der Messung gleich. Mit einer Stoppuhr wird genau die Zeit t (nicht unter 1 Minute) festgestellt, die der Zähler zu n Umdrehungen gebraucht hat. Die Zählerkonstante, mit der die Zählerangaben A zu multiplizieren sind, um den wirklichen Verbrauch W zu erhalten, ist dann

$$C = \frac{W}{A} = L \cdot t \cdot \frac{a}{n}$$

* Der äußere Anschluß des Spannungskreises kann anstatt durch zwei Drähte auch durch einen Draht vorgenommen werden.

** Die in Klammern stehenden Zahlen entsprechen den Bildnummern in den Normen des VDE.

L ist in kW, t in Stunden einzusetzen. Die Zahl a (Umdrehungen je kWh) ist auf jedem Zähler angegeben. Der Fehler F (Abweichung) des Zählers ist $F = A - W$ oder in % des wirklichen Verbrauchs

$$F\,\% = \frac{A-W}{W} \cdot 100 = \frac{1-C}{C} \cdot 100.$$

Der große Wert dieser Methode besteht darin, daß man die Fehler des Zählers bei beliebig vielen verschiedenen Belastungen feststellen und auf diese Weise eine Kurve aufstellen kann, die die Abhängigkeit der Zählerangaben von der Belastung darstellt.

Zählertafeln.

Während früher Zähler auf Zählerbrettern oder auf verstellbaren Zählerkreuzen montiert wurden, dienen gegenwärtig fast ausschließlich fabrikationsmäßig hergestellte Zählertafeln zur Aufnahme des Zählers. Zählertafeln vereinigen meist Zähler, Verteilungssicherungen, Verteilungs- und Hauptschalter. Hierdurch ist eine wesentlich vereinfachte Installation möglich, und es wird eine gute Übersichtlichkeit der Anlage erreicht.

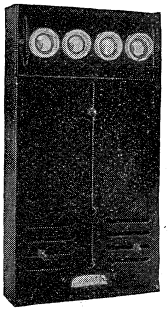


Bild 69. Zählertafel aus Stahlblech für ein bis vier Einheiten.

Man unterscheidet:

Zählertafeln aus Stahlblech,
Zählertafeln aus Isolierstoff,
Zählerhauben.

Zählertafeln aus Stahlblech entsprechen den geltenden VDE-Vorschriften und sind unter Berücksichtigung der vielseitigen Sonderwünsche der Elektrizitätswerke entwickelt worden, um Konstruktionen größter Universalität zu erhalten. Die Tafeln sind im allgemeinen derart unterteilt, daß der Hauptteil zur Befestigung des Zählers, ein zweiter Teil für den Anbau von Abzweigsicherungen und Stromkreisschaltern oder von Elfa-Einbauautomaten dient, während ein weiterer Teil zur Aufnahme von Abzweig- und Verbindungsklemmen bzw. Hauptsicherungen (Elfa-Einbauautomaten), Hauptschaltern oder weiteren Verteilungsgruppen vorgesehen ist (Bild 69).

Die Anschlußklemmen dieser Geräte sind nach Abnahme der Abdeckleisten bequem zugänglich. Die Zählertafeln sind so eingerichtet, daß eine nachträgliche Erweiterung oder Änderung der Stromkreisverteilung an der montierten Tafel an Ort und Stelle ohne weiteres möglich ist. In Fällen, in denen die Aufnahmefähigkeit der vorhandenen Tafel nicht ausreicht, kann eine Erweiterung durch passende Anbauten erreicht werden. Als Einbausicherungen werden Sicherungselemente 25 und 60 A, mit und ohne Nullschiene, als Stromkreisschalter ein- und zweipolige Drehschalter verwendet. In Bild 70 ist eine Zählertafel aus Stahlblech mit angebautem Paketschalter dargestellt. An Stelle von Sicherungen und Stromkreisschaltern geht man mehr und mehr dazu über, Elfa-Einbauautomaten, die ebenfalls von Hand abschaltbar sind, einzubauen (Bild 71). Diese haben den Vorteil, daß der Patronenersatz fortfällt und sie bedeutend überstromträger als normale Sicherungen sind (vgl. S. 393).

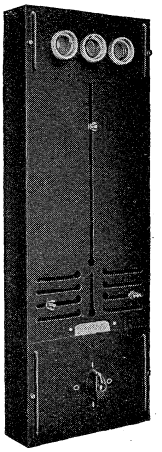


Bild 70. Zählertafel aus Stahlblech mit angebautem Hauptschalter.

Das Durchführen von Isolierrohr unter den Tafeln ist möglich. Zur Leitungseinführung dienen entsprechende ausbrechbare Vorpressungen im Tafelrand. Die Befestigungsplatte der Zählertafel besitzt ein System von Schlitzen, mit dem je nach der Größe der Tafel die Befestigung der verschiedensten Zählertypen möglich

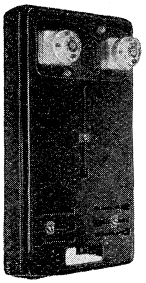


Bild 71. Zählertafel aus Stahlblech mit Elfa-Automaten.

ist. Sowohl bei den Licht- als auch den Kraftzählern gibt es eine Größe, die die Befestigung aller normalen Licht- und Kraftzähler ermöglicht. Die Tafeln sind mit einem haltbaren Lack lackiert, der sie vor Rost schützt.

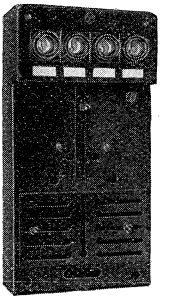


Bild 72. Zählertafel aus Isolierstoff für ein bis vier Einheiten.

Zählertafeln aus Isolierstoff bestehen aus schwarzem Isolierpreßmaterial höchster Wärmebeständigkeit und mechanischer Festigkeit. Sie gleichen grundsätzlich im Aufbau den Stahlblechzählertafeln. Auch hier befindet sich über dem zur Befestigung des Zählers dienenden Teil ein zweiter Teil, der die Verteilungssicherungen und Stromkreisschalter oder die Elfa-Einbauautomaten enthält (Bild 72). Die Einbaugeräte sind hier rückseitig durch Isolierstoff von der Wand getrennt. Sie sind so hoch angeordnet, daß nach Abnahme der Isolierstoffabdeckung die Anschlußkontakte über die Oberfläche der Befestigungsplatten hervorstehen und zum Leitungsanschluß gut zugänglich sind.

Besondere Abdeckscheiben geben die Möglichkeit, die Bestückung der Isolierstoffzählertafeln im Bedarfsfalle zu ändern, ohne einen Umtausch der Abdeckkappen vorzunehmen. Die Schalterabdeckscheibe läßt eine Auswechslung des Sicherungselementes gegen einen Drehschalter zu, während die Blindscheibe bei Ausfall einer Sicherung oder eines Schalters eingesetzt wird.

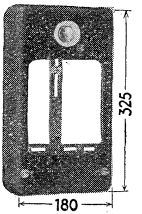


Bild 73. Zählerhaube.

Zählerhauben bestehen aus einem Montagekreuz, das den Zähler, Sicherungen u. dgl. trägt, und aus einer Blechhaube, die über das Ganze gestülpt wird. Der Zwischenraum zwischen der Zählerkappe und dem Haubenausschnitt wird bei Universalzählerhauben rückwärtig durch Zählerabschlußrahmen abgedeckt. Zählerhauben sind ein bequemes Montagemittel für die Ausführung des Zähleranschlusses beim Kleinabnehmer. Durch ihre an sich einfache Form wird die Montage des Zählers erleichtert und Sicherheit gegen Stromdiebstahl gewährleistet. Sicherungen und Schalter können nach allen praktisch vorkommenden Kombinationen eingebaut werden. Die Hauben sind auf Wunsch auch mit Elfa-Einbauautomaten an Stelle von Sicherungen lieferbar (Bild 73).

Über die Verwendung von Zählern in Schaltanlagen siehe S. 144.

H. Elektrische Uhren.

Uhrenanlagen stellt die AEG in zwei sich voneinander grundsätzlich unterscheidenden Ausführungsarten her:

1. Zentral-Schwachstromuhrenanlagen mit Haupt- und Nebenuhren und
2. Synchronuhren, die unmittelbar aus einem Wechselstromnetz mit genau geregelter Frequenz angetrieben werden.

Haupt- und Nebenuhren (Schaltung siehe Bild 83).

Eine hochwertige, elektrisch aufgezogene Hauptuhr (Pendeluhr, Bild 74) treibt über eine besondere Schwachstromleitung eine beliebige Anzahl von Nebenuhren durch minutliche oder halbminutliche elektrische Impulse an. Zu diesem Zweck besitzt die Hauptuhr einen Stromwechselkontakt, während die Nebenuhren (Bild 75) polarisierte Magnetsysteme zum Antrieb der Zeiger enthalten. Das Stahlpendel ist 1146 mm lang ($^1/_1$ Sekundenpendel) und verbürgt eine außerordentlich hohe Ganggenauigkeit der Hauptuhren und somit der ganzen Anlage. Der Stromwechselkontakt gestattet den Anschluß bis zu 50 Nebenuhrwerken, darüber hinaus können durch Zwischenschaltung von Relais beliebig viele weitere Nebenuhren betrieben werden. Der Aufzug der Hauptuhr kann für Gleichstrom 24 bis 250 V oder Wechselstrom von 90 bis 250 V ausgeführt werden. Die Normalspannung der Nebenuhren beträgt 6 bis 9 V bzw. 18 bis 21 V. Die Hauptuhren können auch mit einer Signaleinrichtung zur selbsttätigen Ein- und Ausschaltung von Signalgeräten wie Glocken, Hupen, Sirenen usw. versehen werden. Diese Zeichen können von 5 zu 5 Minuten eingestellt werden, ihre Dauer ist von 5 bis 30 Sekunden regelbar. Die Signalkontakte können bei Gleichstrom mit 0,5 A bei 25 V und 0,2 A bei 250 V, bei Wechselstrom mit 0,75 A bei 250 V belastet werden, gestatten also die Verwendung von Signalgeräten im Anschluß an das Starkstromnetz. Demselben Zweck dienen auch

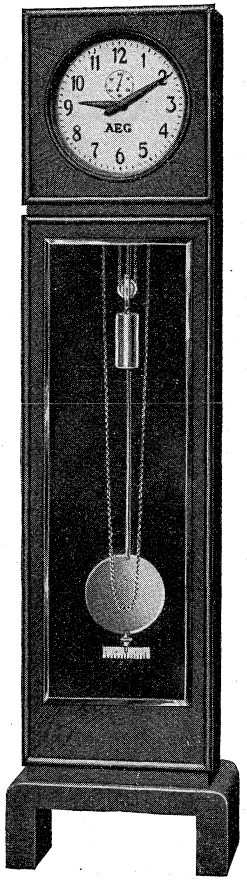


Bild 74.
Hauptuhr für Schwachstrom-Zentraluhrenanlagen.

Signaluhren.

Diese Uhren (Bild 76) werden mit selbständigem Gehwerk (Pendelgang) und elektrischem Aufzug oder mit Synchronmotor hergestellt. Die Ausführung mit elektrischem Aufzug und Pendelgang ist zum Anschluß an alle Wechselstrom- oder Gleichstromnetze bis 250 V geeignet. Ein elektromagnetischer Aufzug zieht in gewissen Abständen selbständig ein Federwerk auf, das auch bei Stromunterbrechungen in der Aufzugsleistung die Uhr noch etwa 12 Stunden in Gang hält (Gangreserve). Uhren mit Synchronmotorantrieb sind nur zum Anschluß an frequenzüberwachte Wechselstromnetze verwendbar und haben keine Gangreserve. Die Signaleinrichtung entspricht der bei den Hauptuhren beschriebenen Ausführung.

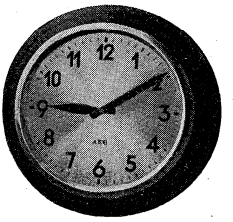


Bild 75. Nebenuhr für Innenräume.

Registrieruhren.

Zur Festlegung und Nachprüfung der Arbeitszeiten der Gefolgschaftsmitglieder in Fabriken, Werkstätten, Büros usw. sind Registrieruhren (Bild 77) ein unentbehrliches Hilfsmittel. Diese Uhren haben große Vorteile

nicht nur bei der Lohnabrechnung, sondern sie geben gleichzeitig auch den Gefolgschaftsmitgliedern die Möglichkeit, die gestempelten Zeiten auf ihre Richtigkeit zu prüfen, so daß nachträgliche Unstimmigkeiten über die tatsächlichen Arbeitszeiten vermieden werden. Das Uhrwerk wird in verschiedenen Ausführungen: mit Hand- oder elektrischem Aufzug und gleichzeitiger Steuerung von einer Hauptuhr oder aber mit Antrieb durch Synchronmotor zum unmittelbaren Anschluß an das Wechselstromnetz hergestellt. Dieses Uhrwerk treibt mechanisch die Zeitscheibe des Stempelwerkes, so daß bei Einführen einer Karte in den Trichter und Niederdrücken eines Handgriffes die Uhrzeit auf der Karte aufgezeichnet wird. Der Kartentrichter muß vorher auf die entsprechenden Spalten „kommt" und „geht" usw. von Hand eingestellt werden; diese Einstellung kann auch selbsttätig durch die Uhr erfolgen. Der elektrische Aufzug des Uhrwerkes erfolgt durch einen selbsttätig arbeitenden Elektromagneten durch Gleichstrom oder Wechselstrom. Die Anschlußspannungen sind 110, 125 und 220 V. Die Steuerung durch die Hauptuhr geschieht minutlich durch die von der Hauptuhr ausgehenden Stromstöße, wie bei den Nebenuhren, oder stündlich über eine besondere Regelleitung.

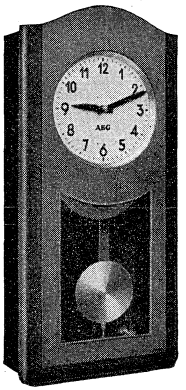


Bild 76. Signaluhr

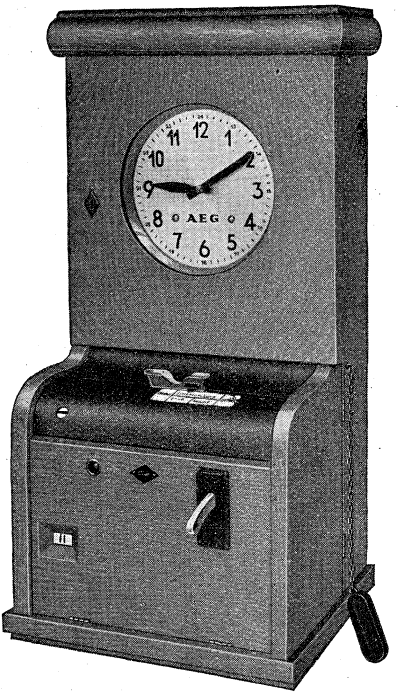


Bild 77. Registrieruhr.

Synchronuhren.

An Stelle der vorgenannten Uhrenanlagen mit besonderem Schwachstromnetz, das immerhin gewisse Anlagekosten erfordert, werden neuerdings immer mehr Synchronuhren verwendet, die unmittelbar an jede beliebige Stelle des Wechselstromnetzes angeschlossen werden können. Als Antrieb wird bei diesen Uhren ein kleiner Synchronmotor verwendet, dessen Drehzahl nur von der Frequenz des Wechselstromnetzes abhängt. Es ist also nur nötig, die Frequenz des Wechselstromes zeitgenau zu regeln, um an allen Stellen eines solchen Netzes Synchronuhren anschließen zu können. Die Zeitüberwachung derartiger Netze geschieht mittels Periodenkontrolluhren, deren Wirkungsweise darauf beruht, daß man die Zeitanzeige einer an das zu überwachende Netz angeschlossenen Synchronuhr mit der Zeitanzeige einer hochwertigen astronomischen Uhr dadurch in sekundengenaue Übereinstimmung

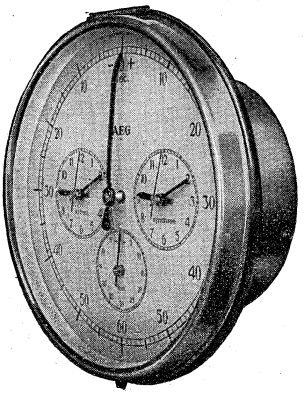


Bild 78.
Periodenkontroll-Schalttafeluhr.

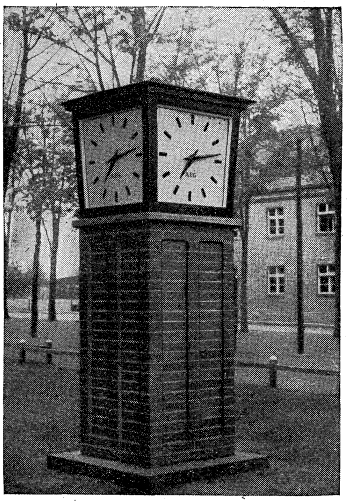


Bild 79. Synchron-Außenuhr.

bringt, daß man die Drehzahl und damit die Frequenz der Stromerzeuger entsprechend höher oder tiefer einregelt. Bild 78 zeigt eine Periodenkontroll-Schalttafeluhr. Diese Uhren haben ein polarisiertes Nebenuhrwerk, das von einer Präzisionspendeluhr sekundlich gesteuert wird, und ein Synchronuhrwerk. Der geringste Unterschied zwischen diesen beiden Uhren in Sekunden wird durch den großen zentrisch angeordneten Zeiger angezeigt, der sich über dem in zweimal 60 Teile geteilten Ziffernblatt bewegt. Zeitgenauigkeit aller angeschlossenen Synchronuhren ist dann erreicht, wenn dieser Differenzanzeiger auf Null einspielt, weil dann Übereinstimmung zwischen elektrischer und astronomischer Zeit besteht.

An derartig geregelte Netze können AEG-Synchronuhren der verschiedensten Ausführung angeschlossen werden. Ein besonderer Vorteil der AEG-Synchronuhren ist der, daß sie selbst anlaufen und nicht von Hand angeworfen werden müssen, was besonders vorteilhaft für Wanduhren, Außenuhren usw. ist, die oft schwer zugänglich sind (Bild 79). Für Netze, in denen mit häufigen Stromunterbrechungen zu rechnen ist, können AEG-Synchronuhren auch mit einer Gangreserve versehen werden, die den Antrieb der Uhren während des Stromausfalles übernimmt (Bild 80). Hierbei zieht der Synchronmotor (1) ein Federhaus (2) auf, dessen Ablauf durch die Unruhe (3) geregelt wird. Diese Unruhe wird über Kurbelstange (4), Kurbelscheibe (6) und Vorgelege (5) in zwangläufiger Abhängigkeit von der Drehzahl des Synchronmotors gebracht. Die Unruhe muß also entsprechend der Drehzahl des Motors schwingen, und die Uhren müssen daher mit der durch das EW überwachten Netzzeit unbedingt synchron gehen. Hierdurch wird eine große Betriebssicherheit und eine hohe Ganggenauigkeit der Uhren erreicht. Beim Ausbleiben der Spannung bleiben der Motor und die Kurbel stehen, während die Uhr, durch die aufgespeicherte Federkraft angetrieben, als selbständig gehende Uhr weiterläuft. (Gangreserve 36 Stunden.)

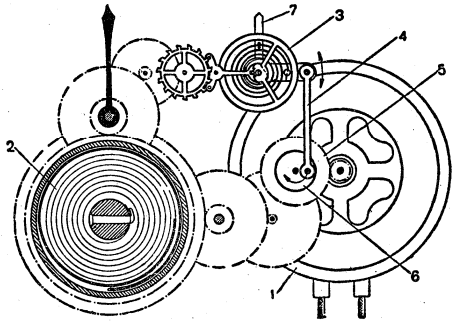


Bild 80. Synchronuhr mit synchronisiertem Unruhgangregler.

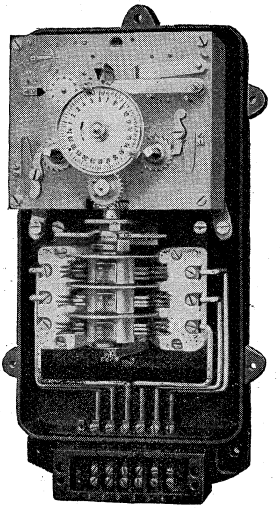


Bild 81. Dreipolige Schaltuhr für 30 A mit Handaufzug.

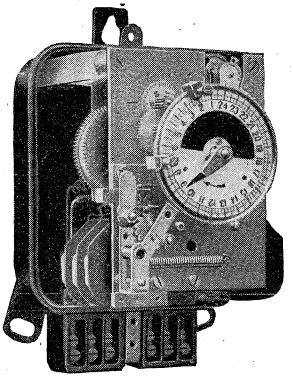


Bild 82. Synchron-Schaltuhr für 15 A mit Gangreserve.

Genau wie die Synchron-Zeituhren werden auch Synchron-Schaltuhren geregelt. Diese Synchron-Schaltuhren werden ohne und mit Gangreserve (für 36 Stunden) ein- und mehrpolig hergestellt. Handelt es sich um Wechselstromnetze, deren Frequenz nicht überwacht wird, so können hier entweder Handaufzug-Uhren (Bild 81) mit einer Gangdauer bis zu 35 Tagen oder elektrisch aufgezogene Uhren (Bild 82) verwendet werden. Als zusätzliche Einrichtung können die Schaltuhren auch mit einer astronomischen Verstellung, die z. B. in Beleuchtungsanlagen je nach Sonnenaufgang und Sonnenuntergang selbsttätig die Ein- und Ausschaltzeiten verschiebt, geliefert werden. Von den vielen Anwendungsgebieten der Schaltuhren sei hier nur kurz auf ihre Verwendung an Prägepressen, Stereotypieschmelzöfen, Bleikesselbeheizung, Setzmaschinen, Glühöfen, Trockenschränke, Heißwasserspeicher, Futterdämpfer usw. hingewiesen. In diesen Fällen wird die Uhr so eingestellt, daß zu Beginn der Arbeitszeit die nötige Vorheizung oder der selbständige Arbeitsgang beim Glühen, Trocknen usw. erfolgt ist. Am Ende der Arbeitszeit schaltet die Uhr selbsttätig wieder aus, so daß neben der damit erzielten großen Wirtschaftlichkeit auch eine unbedingte und nicht hoch genug einzuschätzende Sicherheit gegen Brandgefahr gegeben ist.

Diese vielseitige Verwendungsmöglichkeit von Schaltuhren und die großen Vorteile einer genauen Zeitangabe machen elektrische Uhren zu einem notwendigen Bestandteil eines neuzeitlichen Betriebes.

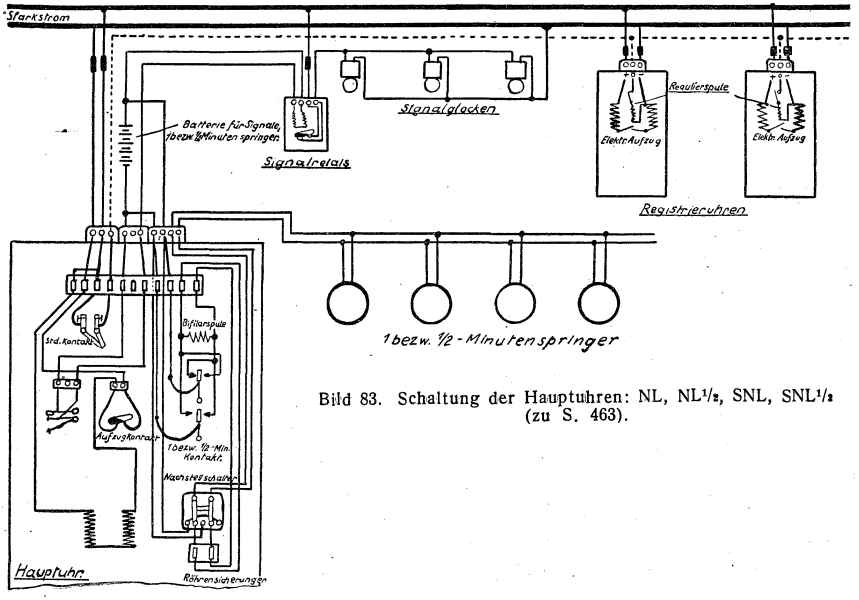


Bild 83. Schaltung der Hauptuhren: NL, NL½, SNL, SNL½ (zu S. 463).

MOTOREN

I. Allgemeines.

Leistung.

Die Leistungen der Motoren gelten im allgemeinen für Dauerbetrieb (DB) Hierbei muß die auf dem Leistungsschild vermerkte Nennleistung beliebig lange Zeit abgegeben werden können, ohne daß die Erwärmung die in der Tafel 3, S. 474 angegebenen Grenzwerte überschreitet.

Für kurzzeitigen Betrieb (KB), für Dauerbetrieb mit kurzzeitiger Belastung (DKB), für aussetzenden Betrieb (AB) (Krane, Aufzüge usw.) und für Dauerbetrieb mit aussetzender Belastung (DAB) werden Maschinen nach Sonderlisten verwendet, wobei eine Erhöhung der Leistung infolge der Abkühlung in den Pausen bzw. Leerlaufzeiten berücksichtigt ist.

Kurzzeitiger Betrieb (KB) liegt vor, wenn die Betriebszeit so kurz ist, daß die Beharrungstemperatur nicht erreicht wird; die Betriebspause, während der die Maschine spannungslos ist, muß so lang sein, daß die Abkühlung auf die Temperatur des Kühlmittels (z. B. der umgebenden Luft) erreicht wird.

Auch bei Dauerbetrieb mit kurzzeitiger Belastung (DKB) ist die Belastungszeit so kurz, daß die Beharrungstemperatur nicht erreicht wird.

Die Belastungspause, während der die Maschine leer läuft, ist so lang, daß die Abkühlung auf die Beharrungstemperatur bei Leerlauf erreicht wird.

Bei aussetzendem Betrieb (AB) wechseln Einschaltzeiten mit spannungslosen Pausen ab, deren Dauer nicht zur Abkühlung auf die Temperatur des Kühlmittels ausreicht.

Bei Dauerbetrieb mit aussetzender Belastung (DAB) wechseln Belastungszeiten mit Leerlaufpausen ab, deren Dauer nicht zur Abkühlung auf die Beharrungstemperatur bei Leerlauf genügt.

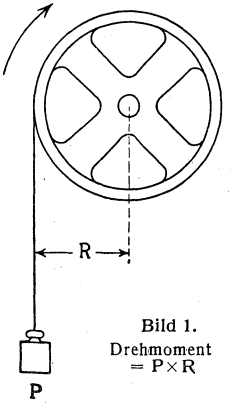


Bild 1. Drehmoment = P×R

Die Summe aus Einschaltdauer (Belastungszeit) und Pause ist die Spieldauer, die bei den beiden Betriebsarten (AB und DAB) die Zeit von 10 Minuten nicht überschreiten darf. Maßgebend für die Bemessung des Motors ist die „relative Einschaltdauer" ED, d. h. das Verhältnis der Einschaltdauer zur Spieldauer (z. B. 15, 25 oder 40% ED bei Kranmotoren). (Vgl. R.E.M.)

Drehmoment.

Die einem Motor zugeführte elektrische Energie wird in ihm in mechanische umgewandelt. Die Leistung des Motors äußert sich am Umfang der Riemenscheibe oder bei Kupplungen an der Kupplungsstelle als Zugkraft und Geschwindigkeit. Die Größe der Zugkraft ist je nach Leistung und Drehzahl des Motors und Durchmesser der Riemenscheibe bzw. der Kupplung verschieden, aber das Produkt aus Zugkraft und Halbmesser hat für jede Maschine einen bestimmten Wert; es wird Drehmoment genannt und ist in Bild 1 dargestellt. P wird in Kilogramm gemessen, R in Meter. Dann ist:

$$\text{das Drehmoment } M = P \times R \text{ Meterkilogramm,}$$

$$\text{die Leistung } N = \frac{P \cdot 2R \cdot 3{,}14 \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{M \cdot n}{716} \text{ PS}$$

wobei n die Nenndrehzahl des Motors bedeutet.

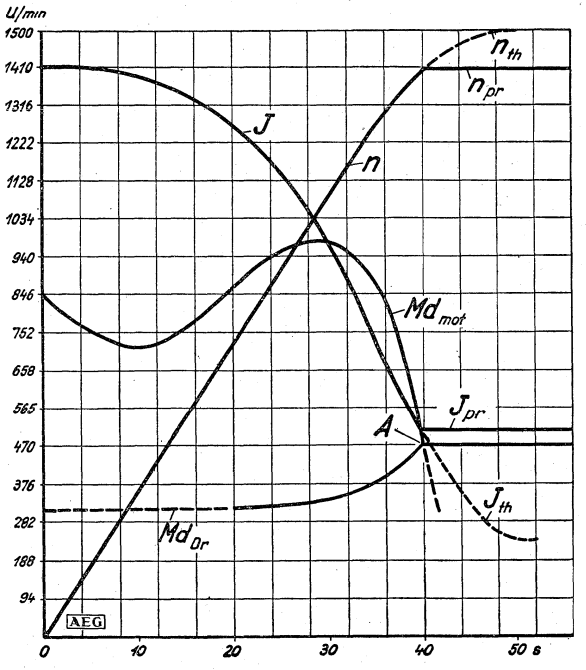
Man unterscheidet das Nenndrehmoment, das der Motor ausübt, wenn er normal belastet ist, das Höchstdrehmoment (Kippmoment), das der Motor bei Überlastung

im Lauf höchstens auszuüben vermag, und das Anzugsdrehmoment, das der Motor beim Anlauf auszuüben in der Lage ist. Das Nenndrehmoment errechnet sich nach obiger Formel zu:

$$M = 716 \times \frac{N}{n} \text{ Meterkilogramm.}$$

Tafel 1. Nenndrehmomente der Motoren.

Bei einer Drehzahl pro Minute von	Bei einer normalen Leistung von									
	1 PS mkg	2 PS mkg	3 PS mkg	4 PS mkg	5 PS mkg	6 PS mkg	7 PS mkg	8 PS mkg	9 PS mkg	10 PS mkg
500	1,43	2,9	4,3	5,7	7,2	8,6	10,0	11,5	12,9	14,3
600	1,19	2,4	3,6	4,8	6,0	7,1	8,3	9,5	10,7	11,9
750	0,95	1,9	2,9	3,8	4,8	5,7	6,7	7,6	8,6	9,5
1000	0,72	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5,0	5,7	6,4	7,2
1200	0,60	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0
1500	0,48	1,0	1,4	1,9	2,4	2,9	3,3	3,8	4,3	4,8
2000	0,36	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,9	3,2	3,6
3000	0,24	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,2	2,4



Md_{mot} = Drehmomentverlauf des Motors in Sternschaltung.

Md_{Dr} = Drehmoment der Arbeitsmaschine.

n = Drehzahl des Motors.

J = Motorstrom.

J_{th} = theoretischer Verlauf des Motorstromes bei leer laufendem Motor.

J_{pr} = Verlauf des Motorstromes nach dem Hochlaufen d. Arbeitsmaschine.

n_{th} = theoretischer Verlauf der Drehzahl bei leer laufendem Motor.

n_{pr} = Drehzahlverlauf nach Hochlauf der Arbeitsmaschine.

Bild 2. Anlauf einer durch einen Käfigläufermotor angetriebenen Arbeitsmaschine.

Die Kippdrehmomente von Motoren müssen bei Nennspannung, bei Dreh- und Wechselstrommotoren auch bei Nennfrequenz, nach den R.E.M. mindestens folgende Werte haben:

1. Motoren für Dauer- und kurzzeitigen Betrieb: Kippdrehmoment gleich oder größer als 1,6 × Nenndrehmoment;
2. Motoren für aussetzenden Betrieb: Kippdrehmoment gleich oder größer als 2 × Nenndrehmoment.

Das erforderliche Anzugsmoment des Motors, also das Drehmoment, das der Motor ausüben muß, um die von ihm betriebene Einrichtung in Bewegung zu setzen, ist teils geringer als das normale (Anlauf ohne Belastung, Leeranlauf, z. B. mit Fest- und Losscheibe), teils gleich dem normalen (Anlauf mit geringer Last, Halblastanlauf, z. B. Antrieb einer Transmission einer Kreiselpumpe), teils größer als das normale (Anlauf mit voller Last, Vollastanlauf, z. B. Antrieb einer Kolbenpumpe). Bei Aufzügen und Kranen (aussetzender Betrieb) sowie bei Brücken- und Schleusentorantrieben (kurzzeitiger Betrieb) muß das Anlaufmoment mindestens das Zweifache des Nenndrehmomentes sein (erschwerter Anlauf).

Bei der Auswahl des Motors nach den Anlaufbedingungen ist folgendes zu beachten. Der Motor hat beim Antrieb leer laufender Arbeitsmaschinen nicht nur die Reibung in den Lagern, Zahnrädern usw. der Arbeitsmaschine zu überwinden, er muß auch noch während des Hochlaufens bis zur verlangten Drehzahl Massen beschleunigen, worunter die Beschleunigung seines eigenen Ankers mit einzurechnen ist. Soll die betreffende Arbeitsmaschine oder eine Transmission unter Last anlaufen, d. h. ist während des Hochlaufens noch Arbeit zu leisten, z. B. Anlauf einer unter Druck stehenden Kolbenpumpe, so ist dies bei der Bemessung des benötigten Anlaufmomentes mit zu berücksichtigen.

Als Beispiel sei der Anlauf einer Dreschmaschine gewählt, die immer leer anläuft, d. h. ohne daß Getreide eingelegt wird. Zum Antrieb dient ein Drehstrom-Kurzschlußläufermotor, der die Maschine in der Sternschaltung des Sterndreieckschalters zum Hochlauf bringen soll. Das von der Dreschmaschine benötigte Leerlauf-Drehmoment (Bild 2) ist nicht konstant, da der Leerverbrauch der Gebläse mit wachsender Drehzahl ansteigt. Darüber ist der Drehmomentverlauf des Motors aufgetragen. Die Drehzahl steigt so lange an, bis sich beide Kurven (in A) schneiden. Sie bleibt von hier ab konstant. Der Unterschied des Drehmomentes zwischen der Maschinen- und der Motordrehmomentkurve dient zur Beschleunigung der Massen. Die Fläche zwischen diesen Kurven ist ein Maß für das GD^2 von Arbeitsmaschine und Motor. Im Beispielsfalle würde bei A, also nach einer Anlaufzeit von 40 Sekunden, die zur Beschleunigung der Massen erforderlich ist, die Umschaltung auf Dreieck erfolgen.

Ist das GD^2 bekannt, so kann man bei bekanntem Anlaufdrehmoment Md_a des Motors und des für Reibung und Nutzbelastung erforderlichen Momentes Md_r die Anlaufzeit ta nach der Formel

$$ta = \frac{GD^2 \cdot n}{375 \cdot (Md_a - Md_r)}$$

bestimmen.

Leistung und Anlaufbedingungen.

In den meisten Fällen wird der Verbraucher aus früherer Erfahrung bei ähnlicher Verwendung die nötigen Angaben über die Bemessung des Motors machen, oder der Hersteller der Arbeitsmaschine wird Auskunft geben können. Da die Häufigkeit des Anlassens und die Dauer der Anlaufzeit ebenso wie auch eine etwa vorgeschriebene Begrenzung des Anlaufstromes wichtige Gesichtspunkte für die Auswahl von Typ, Leistung und Anlaßgerät des Motors sind, sollten diese Faktoren möglichst genau festgestellt werden.

Wo solche Angaben nicht zu erreichen sind, kann man entweder auf Grund einer allgemeinen Angabe über die Anlauf- und Schaltbedingungen als leicht, mittel, schwer und besonders schwer annähernd einen geeigneten Motor nebst Anlaßgerät

festlegen oder, was vorzuziehen ist, auf Grund von Meßergebnissen den passenden Motor auswählen.

Anlaufstrom.

Kleine Gleichstrommotoren und Drehstrommotoren mit Käfigläufer, die ohne Verwendung eines Anlassers mittels Schalters unmittelbar eingeschaltet werden, haben beim Einschalten eine größere Stromaufnahme, die bei den Gleichstrommotoren das 6- bis 8fache und bei den Drehstrommotoren das 3- bis 5,5fache des Nennstromes beträgt.

Der Einschaltstrom läßt sich bei Drehstrommotoren mit Käfigläufer (Kz-Motoren) durch Anwendung eines Sterndreieckschalters, durch den die Ständerwicklung des Motors während des Anlaufes in Stern, dann in Dreieck geschaltet wird, herabmindern. Die Dauer des Anlaufstromstoßes hängt von der Belastung ab, unter der der Motor anzulaufen hat. Näheres über die Anlaufverhältnisse der Kz-Motoren siehe S. 483.

Die Stromaufnahme eines Motors, der mittels Anlassers angelassen wird, hängt von der Belastung beim Anlauf sowie der Anlaßzeit ab.

Um den meistens vorkommenden Anlaßbedingungen zu genügen, sind die Anlasser vom VDE genormt worden. Für Leistungen bis 100 kW werden die Anlasser für Halblast- und Vollastanlauf gebaut, erstere für leer anlaufende Antriebe, sofern sie nicht mit großen Schwungmassen, Wellensträngen usw., verbunden sind. Für alle anderen Betriebe, die unter Belastung anlaufen, sind Vollastanlasser zu wählen. Der mittlere Anlaßstrom ist hierbei ungefähr das 1,3fache des Motornennstromes. Die Anlaufzeit soll hierbei bei Motoren bis etwa 10 kW 6 bis 10 Sek., bis 35 kW 16 Sek., bis 70 kW 21 Sek., bis 100 kW 24 Sek. betragen. (Näheres über Anlaßgeräte siehe S. 506.)

Vollaststrom.

Tafel 2. Annähernder **Stromverbrauch der gebräuchlichsten Motoren bei Vollast in A für eine Pferdestärke.**

Motorleistung	Gleichstrom			Drehstrom			
	110 V	220 V	440 V	125 V	220 V	380 V	500 V
1 PS	8,9	4,45	2,3	5,16	2,94	1,69	1,3
2 PS	8,8	4,4	2,2	5,09	2,88	1,67	1,27
3—5 PS	8,5	4,25	2,13	4,86	2,76	1,61	1,23
6—25 PS	8,3	4,1	2,08	4,8	2,7	1,58	1,2
26—50 PS	7,9	3,95	1,98	4,46	2,54	1,46	1,1
51—75 PS	—	3,83	1,92	4,38	2,49	1,44	1,09
76—100 PS	—	3,78	1,89	4,29	2,44	1,4	1,07
im Mittel	8,5	4,1	2,1	4,7	2,7	1,55	1,2
Bei 3 kV Drehstrom etwa 0,2 A je PS. Bei 6 kV Drehstrom etwa 0,1 A je PS.							

Drehzahl.

Sie soll innerhalb der normalen Drehzahlstufen so hoch gewählt werden, wie es sich mit einer vernünftigen Planung verträgt, weil innerhalb bestimmter Grenzen der Motor um so teurer wird, je langsamer er läuft, und häufig auch die charakteristischen elektrischen Eigenschaften bei schnell laufenden Motoren besser sind. Nur wo der schneller laufende Motor kostspielige Untersetzungen an der anzutreibenden Maschine bedingt, ist der langsamer laufende vorzuziehen.

Üblich sind bei Gleichstrommotoren bis zu Leistungen von 1 PS Drehzahlen von 2800 bis 1400 in der Minute, von 1 bis 7,5 PS solche von 2800 bis 920 in der Minute, von 7,5 bis 120 PS solche von 1460 bis 600 in der Minute. Grundsätzlich wählt man als Drehzahlen für Gleichstrommotoren die gleichen wie für Drehstrommotoren, deren Drehzahlen weiter unten aufgeführt sind.

Gleichstrommotoren kann man mit beliebiger Drehzahl ausführen.

Der Nebenschlußmotor fällt bei Belastung nur wenig in der Drehzahl ab. Sie kann in gewissen Grenzen durch Widerstände vor dem Anker bei gleichbleibendem Drehmoment heruntergesetzt und durch Regelwiderstände im Feld verlustfrei bei gleichbleibender Leistung, d. h. unter Verminderung des Drehmomentes, gesteigert werden. Die dauernde Regelung im Ankerstromkreis ist unwirtschaftlich und daher möglichst zu vermeiden.

Die Drehzahl eines Hauptstrommotors nimmt mit abnehmender Belastung schnell zu. Bei vollständiger Entlastung würde er durchgehen.

Die Drehzahl von normalen Drehstrommotoren (Asynchronmotoren) ist durch die Frequenz und die Polzahl, für welche der Motor gewickelt ist, fest bestimmt. Sie haben bei der üblichen Frequenz von 50 in der Sekunde unabhängig von der Größe und der Spannung eine Drehzahl bei Leerlauf von 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 usw. in der Minute. Bei voller Belastung ist die Drehzahl entsprechend dem Schlupf des Läufers geringer. Sie beträgt etwa 2850, 1420, 960, 720, 560, 470 usw. in der Minute. Eine Steigerung ist nicht möglich, eine Verminderung erfordert die Verwendung von Regelschleifringläufern und Läuferwiderständen. Sie ist durch die Vernichtung von Energie in den Widerständen unwirtschaftlich und daher möglichst zu vermeiden. Bei Antrieb von Lüftern, Schleuderpumpen und dgl. durch einen unmittelbar gekuppelten Drehstrommotor müssen deshalb obige Drehzahlen zugrunde gelegt werden.

Wenn die Drehzahl von Drehstrommotoren größerer Leistung geregelt werden soll, so sind Drehstrom-Kommutatormotoren am Platze (siehe S. 486)

Falls wenige Drehzahlstufen ausreichen, die ein Vielfaches der kleinsten Drehzahl betragen, z. B. 750, 1000 und 1500 U/min, so werden polumschaltbare Motoren gewählt. (Vgl. S. 488.)

In den weitaus meisten Fällen ist der Motor mit gleichbleibender Drehzahl am Platze. Ausführungen mit Drehzahlregelung sind teurer und ihre Verwendung nur dort gerechtfertigt, wo die Leistung der angetriebenen Maschine dadurch erhöht oder ihre Bauart verbessert wird.

Überlastung.

Maßgebend für die Leistungsfähigkeit des Motors ist außer Drehmoment und Drehzahl die Temperatur, die er während des Betriebes annimmt.

Für die Motoren sind auch Überlastungen zulässig, und zwar müssen Maschinen für Dauerbetrieb in betriebswarmem Zustande während zweier Minuten den 1,5fachen Nennstrom bei der Nennspannung ohne Beschädigung oder bleibende Formveränderung aushalten (R.E.M.).

Die Temperaturzunahme von Maschinen wird nach den R.E.M. bei Dauerbetrieb mit Nennbelastung festgestellt, sobald die Temperatur einen annähernd gleichbleibenden Höchstwert erreicht hat, d. h. wenn sie nicht um mehr als 2° in 1 h zunimmt. Bei kurzzeitigem Betrieb erfolgt die Messung nach Ablauf der auf dem Leistungsschild angegebenen Betriebszeit, während welcher die Maschine vom kalten Zustande aus (Temperatur der Umgebung) belastet wurde. Bei aussetzendem Betrieb (AB und DAB) wird die Maschine einem regelmäßig aussetzenden Betriebe im Probelauf unterworfen.

Verschiedene Teile der Maschine nehmen die höchstzulässige Temperatur auch dann an, wenn der Motor unbelastet oder mit geringer Last läuft. Wenn also bei Maschinen auch bei geringerer Belastung Temperaturen gemessen werden, die den

höchstzulässigen Temperaturen nahekommen, so darf daraus nicht auf ungenügende Abmessungen oder auf einen Fehler innerhalb der Maschine geschlossen werden.

Die mittlere Erwärmung der Maschinen kann auch aus der Widerstandszunahme der Kupferwicklungen errechnet werden. Gibt jedoch die mit dem Thermometer an der voraussichtlich heißesten Stelle der Wicklung ausgeführte Messung höhere Werte, so sind diese maßgebend.

Das Thermometer ist an denjenigen Stellen der Maschine anzulegen, an denen wahrscheinlich die höchsten Temperaturen auftreten. Die Kugel des Thermometers wird zum Zwecke einer genauen Messung mit einer Stanniolumhüllung versehen, die sich möglichst dicht dem Maschinenteil anschmiegen soll, dessen Temperatur festzustellen ist. Thermometer und Maschinenteile werden dann zur Vermeidung des Wärmeverlustes gemeinsam mit einem schlechten Wärmeleiter (trockener Putzwolle, Watte u. dgl.) überdeckt. Das gilt besonders für Stellen, die von Kühlluft bestrichen werden. Das Thermometer wird außerdem so befestigt, daß es sich während des Betriebes nicht aus seiner Lage verschieben kann. Bei diesen Messungen dürfen bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden.

Diese in Tafel 3 angegebenen Grenzwerte für die Temperaturerhöhung sind unter der Voraussetzung aufgestellt, daß die Temperatur der Umgebung 35° nicht überschreitet. Als Temperatur der Umgebung gilt der Mittelwert der Temperatur der Luft in Höhe der Maschinenmitte und in etwa 1 m Entfernung von der Maschine. Die Thermometer dürfen während der Messung weder Luftströmungen noch Wärmestrahlung ausgesetzt sein.

Isolation.

Werden keine besonderen Vorschriften gemacht, so erhalten sämtliche Motoren normale Feuchtigkeitsschutzisolation (Bezeichnung I 1), bei welcher durch die Art der Imprägnierung und die Auswahl der Isolierstoffe dafür gesorgt ist, daß die Wicklung gegen den Einfluß feuchter oder staubhaltiger Luft, sofern der Staub keine leitenden Bestandteile enthält, hinreichend geschützt ist. Die Isolation reicht selbst für Räume aus, in denen sich die Luftfeuchtigkeit zeitweise niederschlagen kann, wie in Brauereien, Färbereien, Waschanstalten, Schlachthäusern, Brunnenschächten, Zement- und Kalkwerken. Die Isolation eignet sich auch für jene tropischen Gegenden, in denen nicht mit besonders feuchtwarmer Luft zu rechnen ist.

Für besonders nasse oder feuchtwarme Räume (Äquatorialgegenden) sind Motoren mit Isolation I 2 zu verwenden. Bei dieser ist durch eine besondere Imprägnierung, mehrmalige Tränkung und teilweise Verstärkung der Isolation dafür gesorgt, daß die Wicklung hinreichend geschützt ist. Diese Isolation ist auch für solche Maschinen besonders zu empfehlen, die zeitweise dem Einfluß von Feuchtigkeit ausgesetzt sind, dabei aber selten in Betrieb genommen werden, so daß sie keine Gelegenheit haben, durch ihre eigene Betriebswärme wieder auszutrocknen.

Auf Wunsch wird außerdem die normale wie die Isolation I 2 noch als Sonderisolation ausgeführt, um die Wicklung besser gegen den ätzenden Einfluß von Gasen und Dämpfen zu schützen. Dabei ist aber zu bemerken, daß hierdurch ein vollkommener Schutz gegen Säuredämpfe nicht gewährleistet werden kann. Der besondere Lackanstrich wird durch den Zusatzbuchstaben L, also I 1 L, I 2 L, angedeutet.

Außer diesen der Klasse A (Baumwolle in Füllmasse) entsprechenden Isolationen werden die Drehstrommotoren mit Ausnahme der kleinsten Typen auch mit Apyrolisolation (es handelt sich hier um ein Asbesterzeugnis) der Klasse B ausgeführt. Diese Isolation bildet nicht nur einen außerordentlich dichten, festhaftenden Überzug hoher Durchschlagfestigkeit, sie ist auch in weitgehendem Maße als wärmebeständig anzusehen. Selbst bei einer dauernden Erwärmung auf 200° C und einer kurzzeitigen Erwärmung bis zu 400° C geht ihre Durchschlagfestigkeit nicht merklich zurück, so daß Motoren mit dieser Isolation gegen Überlastungen außerordentlich unempfindlich sind. Die Leistung kann also gegenüber Motoren mit Baumwollisolation

hinaufgesetzt werden. Als Kennzeichen dient der Zusatz „m". Erwärmungsgrenzen nach R.E.M. siehe Tafel 3 unter B.

Soweit dies nicht durch die Wahl der Isolation möglich ist, ist den örtlichen Verhältnissen auch durch die Schutzart Rechnung zu tragen, ebenso ist der Einfluß leitenden Staubes, explosibler Gase, hoher strahlender Hitze und ähnlicher besonderer Umstände von Fall zu Fall zu berücksichtigen.

Tafel 3. Grenzerwärmungen*) (Nach VDE 0530 U/1.40)

Klasse		A	B***)		C	
Isolierstoff		Baumwolle, Seide, Papier und ähnliche Faserstoffe	Lackdraht	Glimmer- und Asbestpräparate u. ähnliche mineralische Stoffe	Glimmer	Porzellan, Glas, Quarz und ähnliche feuerfeste Stoffe
Behandlung		getränkt**) od. in Füllmasse**)	—	mit Bindemittel	ohne Bindemittel	—
1	Alle Wicklungen mit Ausnahme von 2	60°	95° (80°)		Nur beschränkt durch den Einfluß auf benachbarte Isolierteile	
2	Einlagige Feldwicklungen allgemein, ebenso in Volltrommelläufern zweilagige Feldwicklungen	70°	95° (80°)			
3	Kommutatoren Schleifringe	60° 60°	75° (60°) 60°		75° (60°) 60°	
4	Gleitlager Wälzlager	45° 60°				
5	Eisenkerne mit eingebetteten Wicklungen	Wie die Wicklungen				
6	Eisenkerne ohne eingebettete Wicklungen	Nur beschränkt durch den Einfluß auf benachbarte Isolierteile				
7	Alle anderen Teile					
Meßverfahren						
Alle Wicklungen, mit Ausnahme der dauernd kurzgeschlossenen		Widerstandzunahme und Thermometermessung				
Dauernd kurzgeschlossene Wicklungen sowie alle anderen Teile		Thermometermessung				

*) D. h. Temperaturerhöhung über das kühlende Mittel, z. B. die umgebende Luft.

**) Eine Isolierung wird als „getränkt" bezeichnet, wenn die Luft zwischen den Fasern weitgehend durch einen geeigneten Stoff ersetzt wird.

Sind diese Zwischenräume ausgefüllt, so wird die Isolierung als „in Füllmasse" bezeichnet.

Von einem brauchbaren „Tränkmittel" wird verlangt, daß es gute Isoliereigenschaften hat, daß es die Fasern vollständig einhüllt und sie aneinander und am Leiter haften läßt, daß es bei der zugelassenen Grenztemperatur nicht weich wird und daß es wärmebeständig ist.

Von einer brauchbaren „Füllmasse" wird verlangt, daß sie gute Wärmeleitfähigkeit und erforderliche Isoliereigenschaften hat, daß sie die Hohlräume zwischen den isolierten Leitern praktisch ausfüllt und keine Hohlräume bildet, daß sie bei der zugelassenen Grenztemperatur nicht tropfbar weich wird und daß sie wärmebeständig ist.

„Ungetränkte" Isolierstoffe sollen im allgemeinen nicht verwendet werden. Wenn in Ausnahmefällen davon Gebrauch gemacht wird, so sind die Grenzerwärmungen hierfür um 15° gegenüber den für Isolationsklasse A zulässigen Werten zu erniedrigen.

***) Für Maschinen mit Lackdrahtwicklungen gelten die Werte in den Klammern. Für Maschinen, die nach Art ihres Betriebes dauernd im Tag- und Nachtbetrieb ohne Überholungsgelegenheit durchlaufen, gelten die Klammerwerte in Spalte 3.

Schutzarten.

In den meisten Fällen werden Motoren in offener Ausführung genügen. Wenn jedoch durch den Aufstellungsort die Notwendigkeit gegeben ist, die stromführenden und umlaufenden Teile des Motors gegen das Eindringen von Fremdkörpern oder groben Staub oder Wasser zu schützen, oder wenn ein Schutz gegen das Berühren spannungführender Teile verlangt wird, so sind Motoren in besonderer Schutzart zu verwenden. Die Schutzarten sind nach DIN VDE 50 (November 1934) wie folgt genormt, wobei P den allgemeinen Kennbuchstaben für die Schutzarten bedeutet, die erste Ziffer sich auf den Schutz gegen Berührung und Fremdkörper, die zweite sich auf den Schutz gegen eindringendes Wasser bezieht (Tafel 4).

Tafel 4. Aufbau der Kurzzeichen für die Schutzarten von Maschinen.

Berührungsschutz (Schutz gegen Berührung spannungführend. Teile)	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper und Staub	Kennziffer	Ohne Wasserschutz 0	Tropfwasserschutz 1	Spritzwasserschutz (Regenschutz) 2	Schwallwasserschutz 3	Sonderbauarten	
Ohne Berührungsschutz	Ohne Schutz gegen feste Fremdkörper	0	P 00	P 01				
Schutz gegen zufällige Berührung	Schutz gegen große feste Fremdkörper	1	P 10	P 11	P 12			
	Schutz gegen kleine feste Fremdkörper	2	P 20	P 21	P 22	P 23		
Schutz gegen absichtliche Berührung	Schutz gegen groben Staub	3				P 33		
Kennbuchstaben für Sonderschutzarten	Explosionsschutz						e	
	Schlagwetterschutz						m	
Kennbuchstaben für erweiterte Sonderschutzarten	Druckfeste Kapselung							i
	Plattenschutz							p

Weicht die Schutzart des elektrischen Anschlusses (Klemmen oder dgl.) von der normalen Schutzart der Maschine ab, so ist das Kurzzeichen für die Anschlußart besonders anzugeben, z. B. ist eine Maschine ohne Berührungs- und Wasserschutz mit gegen Berührung und Tropfwasser geschützten Klemmen mit P 00, Klemmen P 21 zu bezeichnen.

Werden an einer Maschine, abgesehen von der Schutzart des Anschlusses, zwei verschiedene Schutzarten gleichzeitig verwendet, so sind die Kurzzeichen hinter dem P durch Schrägstrich getrennt zu vereinigen. Die erste Gruppe gilt für die Grundschutzart, die zweite für die Schutzart bestimmter Teile (im allgemeinen für die betriebsmäßig funkenbildenden Teile), z. B. Drehstrommotor mit erhöhter Sicherheit und druckfest gekapselten Schleifringen P 21 m/33 mi.

Beim Tropfwasserschutz sind die inneren bewegten und die spannungführenden Teile gegen senkrechtfallende Wassertropfen, beim Spritzwasserschutz von oben bis zur Waagerechten, beim Schwallwasserschutz gegen Wassertropfen oder -strahl (ohne besonderen Druck) aus beliebiger Richtung geschützt.

Weitere Angaben über die Schutzarten, die hauptsächlich Verwendung finden, sind in den Abschnitten „Gleichstrommotoren“ und „Drehstrommotoren“ enthalten.

Lager und ihre Wartung.

Die Gleitlager bestehen aus dem Lagergehäuse, einer Lagerbüchse (oder zwei Lagerschalen), in denen die Welle des Motors gelagert ist.

Bezüglich der Schmierung werden unterschieden:

Gleitlager mit Dochtschmierung nach Bild 3 u. Bild 4. Bei diesen befindet sich als Träger des Schmieröles in dem Lagerkopf ein starkes Dochtpolster oder ein Docht.

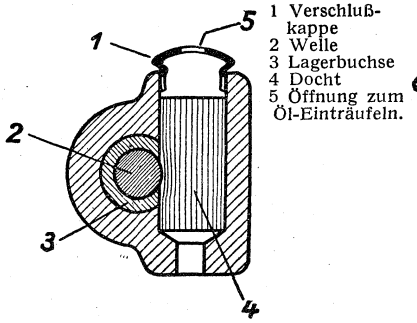


Bild 3. Gleitlager mit Dochtpolsterschmierung.

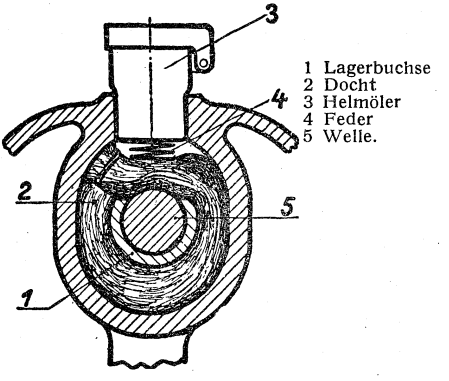


Bild 4. Gleitlager mit Dochtschmierung.

Vor der erstmaligen Inbetriebnahme des Motors ist das Polster oder der Docht mit leichtem harzfreiem Schmieröl zu tränken, bis sich im unteren Teil des Lagers ein Ölsumpf bildet. Es ist so lange in den Helmöler Öl nachzufüllen, bis das Öl sich in den Überlauflöchern an den Stirnseiten der Lagerköpfe zeigt. Da diese Schmierungsart sehr sparsam arbeitet, darf von Zeit zu Zeit nur wenig nachgeölt werden.

Gleitlager mit Ringschmierung. Bei diesen fördert der Ölring, der sich auf der Welle mitdreht, das im Lagergehäuse befindliche Öl auf die Welle.

Vor der Inbetriebnahme sind die Lager nachzusehen und dann mit Petroleum auszuspülen. Das Spülen ist so lange fortzusetzen, bis reines Petroleum durchfließt, erst dann ist Öl langsam nachzufüllen, und zwar so lange, bis einige Sekunden reines Öl aus dem Ölüberlauf abfließt.

Die Erneuerung des Öles richtet sich nach dem Verschmutzen, nach der Größe der Maschine und nach Art des Betriebes; gewöhnlich ist das Öl nach etwa ½ Jahr zu erneuern.

Zum Schmieren der Lager darf nur harz- und säurefreies Öl verwendet werden. Die Lager besitzen einen oder zwei Ölringe. Beim Anlassen der Maschine ist stets nachzusehen, ob sich die Ölringe mitdrehen.

Die Erwärmung der Lager darf nach den Maschinenregeln 45° C Übertemperatur bei 35° C Raumtemperatur betragen.

Die Wälzlager, die in Kugel- und Rollenlager unterteilt werden, setzen sich aus einem Innenring, einem Außenring, den Kugeln bei Kugellagern, den zylindrisch geschliffenen Rollen bei Rollenlagern und einem Käfig zusammen (Bild 5 und 6). Zum Schutze der Wälzlager gegen eindringenden Staub sind Labyrinthdichtungen mit eingepreßten Filzringen vorgesehen (Bild 7). Die Wälzlager besitzen Fettschmierung. Beim Verlassen der Fabrik sind die Lager der Motoren mit Fett gefüllt.

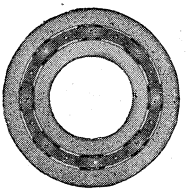


Bild 5. Kugellager.

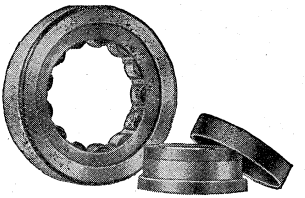


Bild 6. Rollenlager.

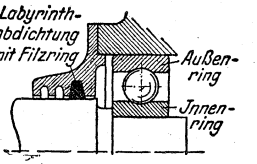


Bild 7. Dichtung der Wälzlager.

Innerhalb welcher Zeiträume Reinigen und Neueinfetten erforderlich ist, richtet sich nach den jeweiligen Betriebsverhältnissen, täglicher Benutzungszeit der Maschine, Höhe der Umgebungstemperatur usw. — Bei normaler Beanspruchung, d. h. täglich achtstündigem Betrieb und normaler Raumtemperatur reicht die in den Lagern befindliche Fettmenge für etwa ein Jahr aus. Auch bei geringerer Beanspruchung der Maschine ist nach diesem Zeitraum Reinigen und Neueinfetten der Lager zu empfehlen. Am besten erfolgt diese Arbeit zusammen mit der üblichen jährlichen Überholung der angetriebenen Maschine.

Das von der Fabrik vorgeschriebene Wälzlagerfett kann in gleicher Weise auch für Motoren mit Apyrolwicklung verwendet werden, jedoch wird empfohlen, bei diesen, infolge der höheren Temperatur der Wicklungen, die eine zusätzliche Erwärmung des Lagers bewirken, die Auswechselung des Lagerfettes in kürzeren Abständen als einem Jahr vorzunehmen. Um das Verschmutzen und Nachschmieren mit ungeeignetem Fett zu vermeiden, sind Schmierlöcher u. dgl. fortgelassen, die ein fortlaufendes Einpressen von Fett in die Wälzlager ermöglichen. Das Reinigen und Neueinfetten hat nach einer dem Motor beigegebenen Behandlungsvorschrift zu erfolgen.

Die Wälzlager haben gegenüber den Gleitlagern den Vorteil, daß ihr Reibungswiderstand etwa ein Zehntel desjenigen der Gleitlager beträgt, daß sie eine bedeutende Ersparnis an Schmiermitteln ergeben und eine sehr geringe Wartung benötigen. Zu beachten ist, daß sie gegen axiale Stöße empfindlich sind.

Je nach der Leistung und den Lagerdrücken der Wälzlagermotoren werden sie entweder beiderseitig mit Kugellagern oder antriebseitig mit Rollenlager und schleifringseitig mit Kugellager oder beiderseitig mit Rollenlagern ausgerüstet.

Die Wartung sowohl der Gleit- als auch der Wälzlager ist für die Erhaltung eines guten Zustandes der Motoren von größter Bedeutung. Es ist deshalb genauestens die jedem Motor beigegebene Behandlungsvorschrift zu beachten.

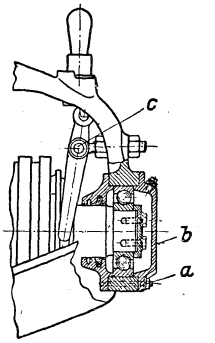
Beim Aufziehen von Riemenscheiben, Kupplungen und Zahnritzeln muß der axiale Druck, der hierbei auf die Welle kommt, abgefangen werden (siehe auch Seite 550). Bei kleineren Motoren hält man zu diesem Zwecke, der Antriebsseite gegenüber, ein schweres Stück Rundeisen gegen die Welle. Es empfiehlt sich, Aufziehvorrichtungen zu benutzen. Die größeren Motoren besitzen im Wellenstumpf stirnseitig zwei Gewindelöcher. Mit Hilfe zweier Schrauben und eines Spannbügels wird das jeweilige Kraftübertragungsteil auf den Wellenstumpf gezogen. Durch unsachgemäßes Aufkeilen beschädigt man insbesondere bei Kugellagern die Laufbahn der Innen- und Außenringe, während sich bei Gleitlagern die Stiftschraube oder der Exzenterbolzen verklemmt. Die elastischen Kupplungen sollen Stöße von den Lagern fernhalten und nicht dazu dienen, Ungenauigkeiten in der Lage der Wellenachsen auszugleichen. Sämtliche Übertragungsteile der Kupplungen müssen gleichmäßig tragen, andernfalls treten Kurbelwirkungen auf, die die Lager stark beanspruchen und die Lebensdauer herabsetzen.

Der Treibriemen ist nicht zu stark anzuspannen, da sonst die Lager zu stark abgenutzt werden. Es ist ratsam, die Motorenlager während der ersten Betriebszeit in bezug auf ihre Erwärmung zu beobachten.

Die zulässige Lagerabnutzung bei den Gleitlagern beträgt nur wenige Zehntelmillimeter. Wird sie größer, so ist ein Anstreifen des Ankers an den Polen bei Gleichstrommotoren, des Läufers an dem Ständer bei Drehstrommotoren, und dadurch eine Gefährdung der Wicklungen möglich. Die Lagerabnutzung ist deshalb von Zeit zu Zeit durch Prüfung des Luftspaltes zwischen den umlaufenden und feststehenden Teilen der Motoren festzustellen. Es ist besser, rechtzeitig für die Auswechselung abgenutzter Gleitlager zu sorgen, als sich der Gefahr einer Beschädigung der Wicklung durch Anstreifen auszusetzen.

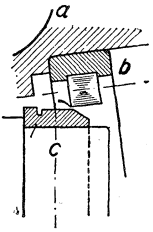
Reinigen der Wälzlager.

Nach der unter „Lager und ihre Wartung" angegebenen Zeit sind die Wälzlager zur Erneuerung der Fettmenge freizulegen. Bei Motoren mit Kugellagern ist zu diesem Zweck der Läufer auszubauen. Zunächst werden nach dem Lösen der Muttern a (Bild 8) die äußeren Lagerdeckel b auf beiden Seiten des Motors entfernt. Dann sind die beiden Schildlager, nachdem ihre Befestigungsschrauben gelöst worden sind, vorsichtig abzuziehen. Bei Motoren mit Anlaßschleifringläufer ist vorher noch der Bolzen c für die Kurzschließergabel herauszunehmen. Nun kann der Läufer zur Reinigung der Lager aus dem Ständer herausgenommen werden. Die vollständigen Lager bleiben bei der Reinigung stets auf der Welle. Die Lager werden mit Benzin oder Benzol (nicht Petroleum) so lange gründlich ausgewaschen, bis alle Fettreste entfernt sind.



a Muttern
b äußerer Lagerdeckel
c Bolzen der Kurzschlußgabel

Bild 8. Kugellager auf der Schleifringseite.



a Lagerschild
b Außenring
c Innenring.

Bild 9. Die Lagerschilde dürfen nicht schief angesetzt werden.

Die Kugellager sind dann wieder einzufetten, und zwar müssen sie auf beiden Seiten mit Wälzlagerfett gefüllt werden. Man rechnet allgemein, daß nur zwei Drittel des Fettraumes mit Fett ausgefüllt sein dürfen, da ein überschmiertes Lager sich erwärmt. Ebenso sind die von der Labyrinthabdichtung umschlossenen Stellen der Welle mit Wälzlagerfett zu bestreichen, um eindringenden Staub von den Kugellagern fernzuhalten. Das Fett muß frei von Harzen und Säuren oder sonstigen rostbildenden Stoffen sein, da es auch konservierend wirken soll. **Auf keinen Fall darf Staufferfett verwendet werden.** Nachdem die in den Labyrinthabdichtungen eingepaßten Filzringe (Bild 7) mit säurefreiem Mineralöl getränkt worden sind, können der Läufer wieder eingebaut und die Lagerschilde an das Gehäuse geschraubt werden. Nachträglich ist festzustellen, ob das Kugellager sich hierbei nicht verklemmt hat, der Läufer muß sich spielend leicht drehen lassen. Bei Motoren, die beiderseitig Kugellager haben, ist außerdem zu kontrollieren, ob der Abstand der seitlichen Verschlußdeckel vom Außenring der Kugellager genügend groß ist, damit beim Ausdehnen der Welle durch Erwärmung die Lager keine zusätzlichen axialen Belastungen aufzunehmen haben. Die Gefahr der Axialverklemmung besteht nicht bei einem Motor mit einem Führungslager (Kugel- oder Rollenlager) und einem Einstellrollenlager, da der Innenring des Einstellagers keine Bordringe hat und die Rollen sich daher auf der Lauffläche nach beiden Seiten hin frei bewegen können.

Bei Motoren mit Rollenlagern ist zwecks Reinigung der Lager wie bei Motoren mit Kugellagern zu verfahren. Es wird jedoch zusammen mit dem Lagerschild auch der Außenring des Lagers mit Käfig und Rollen abgezogen, die dann im Schild zur Reinigung freiliegen. Nur der Innenring des Lagers bleibt auf der Welle haften, so daß ein Herausnehmen des Läufers aus dem Ständer nicht unbedingt erforderlich

ist. Für das Einfetten der Lager und Welle, sowie Tränken der Filzringe gilt dasselbe wie beim Kugellager. Das Anschrauben der Lagerschilde erfordert größte Vorsicht, da hierbei ein genaues Ausrichten mit der Läufermitte notwendig ist. Werden die Lagerschilde schief angesetzt (Bild 9), so schaben die scharfen Rollenkanten die Lauffläche des Innenringes an und der entstandene Grat setzt dann die Zerstörung während des Laufens fort. Bei schweren Lagerschilden haben sich als Hilfsmittel zwei als Stiftschrauben ausgebildete konische Stahlbolzen (Bild 10) bewährt, die in die beiden oberen Gewindelöcher des Gehäuse vorübergehend eingeschraubt, dem Lagerschild eine Führung geben. Vor dem Anlassen des Motors soll durch Drehen von Hand versucht werden, ob der Läufer leichten Anlauf hat. Zeigen sich Verklemmungen, so sind diese unbedingt zu beseitigen.

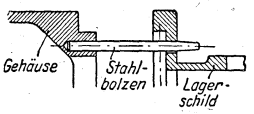


Bild 10. Schwere Lagerschilde werden beim Ansetzen zweckmäßig durch zwei Stahlbolzen geführt.

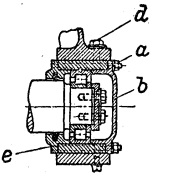
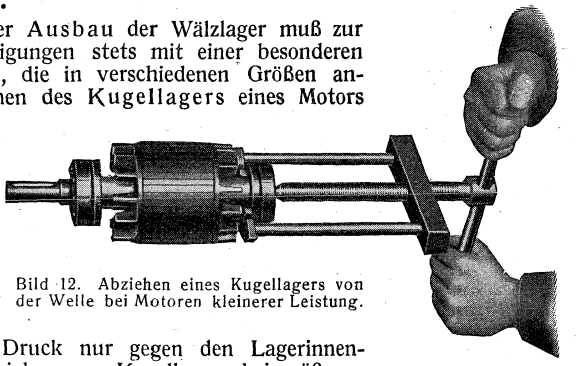


Bild 11. Rollenlager mit verschiebbarer Buchse.

Das Freilegen von Rollenlagern mit verschiebbarer Buchse e (Bild 11) zur genauen Einstellung des Läufers erfolgt wie vorher beschrieben. Der Exzenterbolzen d dient zur Feststellung der Buchse in der gewünschten Lage und soll daher im allgemeinen nicht gelöst werden. Die Buchse wird gemeinsam mit dem Lagerschild abgezogen.

Auswechseln der Wälzlager.

Ein notwendig werdender Ausbau der Wälzlager muß zur Vermeidung von Beschädigungen stets mit einer besonderen Abziehvorrichtung erfolgen, die in verschiedenen Größen angefertigt wird. Das Abziehen des Kugellagers eines Motors kleinerer Leistung zeigt Bild 12. Die Abziehvorrichtung ist mit Muttern an den Schrauben der auf der Welle sitzenden inneren Labyrinthabdichtung befestigt. Zwischen Kugellager und Abdichtung ist ein geteilter Ring auf die Welle gesetzt, damit beim Abziehen des Lagers der Druck nur gegen den Lagerinnenring erfolgt. Für das Abziehen von Kugellagern bei größeren Maschinen dient eine Vorrichtung nach Bild 13. Die hufeisenförmige Abziehplatte wird zwischen Kugellager und Labyrinthabdichtung auf die Welle gesetzt und ist so ausgebildet, daß sie beim Abziehen nur gegen den Innenring drückt.


Bild 12. Abziehen eines Kugellagers von der Welle bei Motoren kleinerer Leistung.

Bei dem Ausbau eines Rollenlagers wird zunächst der Schrumpfring mit Hilfe der Abziehvorrichtung von der Welle entfernt (Bild 14). Dann wird in gleicher Weise

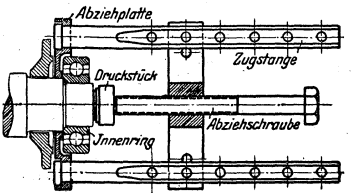


Bild 13. Abziehvorrichtung für Kugellager bei Motoren größerer Leistung.

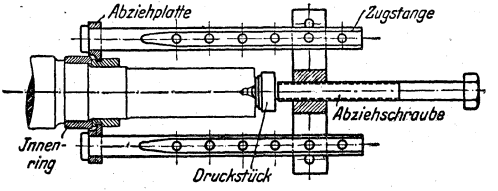


Bild 14. Abziehvorrichtung für den Schrumpfring und den Innenring von Rollenlagern.

der Rollenlager-Innenring durch Hinterfassen mit der Abziehplatte von der Welle gezogen. Der Ausbau des Rollenlager-Außenringes bei Lagerschilden mit angegossener Labyrinthabdichtung geschieht zweckmäßig mit einer Abziehvorrichtung nach Bild 15. Mit den beiden an einer Traverse b befestigten Hakenschrauben c wird der Außenring hinterfaßt und durch Drehen der Mutter am Bolzen a aus dem Lagerkopf herausgehoben. Für Lagerschilde mit durchgehender Bohrung wird statt der Hakenschrauben eine schmiedeeiserne Abziehplatte verwendet.

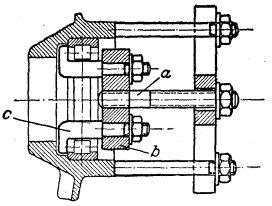


Bild 15. Vorrichtung für den Ausbau des Rollenlager-Außenringes aus dem Schildlager.

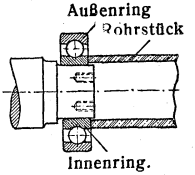


Bild 16. Aufbringen des Lagers auf die Welle mittels eines Rohrstückes

Vor dem Einbau von Kugellagern muß die innere Labyrinthabdichtung auf die Welle gebracht werden. Die Lager sind vor dem Aufziehen in einem sauberen Ölbade auf 70 bis 90° C zu erwärmen und dann mit einem abgestochenen Rohrstück mittels leichter Schläge auf die Welle zu bringen (Bild 16). Der Innenring darf keinesfalls schief aufgesetzt und der zum Aufziehen erforderliche Druck nur auf den Innenring ausgeübt werden. Nach dem Erkalten des Kugellagers muß sich der Außenring spielend leicht von Hand drehen lassen. Das beim Anwärmen im Kugellager verbliebene Öl ist möglichst zu entfernen.

Bei Rollenlagern wird der aufzuziehende Innenring, ähnlich wie ein Kugellager, im Ölbad auf 70 bis 90° C erwärmt und mit einem abgestochenen Rohr auf die Welle gebracht. Der Innenring darf nicht schief sitzen und muß gut am Wellenbund anliegen. Es empfiehlt sich auch hier, den Außenring zwecks Feststellung eines leichten Ganges vor dem Einbau in den Lagerkopf auf dem Innenring abzurollen. Der Außenring mit Käfig und Rollen wird vorteilhaft mit einer Dornpresse eingepreßt. Auf Montagen kann man sich auch mit Hartholz behelfen. Weiches Holz darf wegen der Splitterwirkung zum Schlagen nicht verwendet werden.

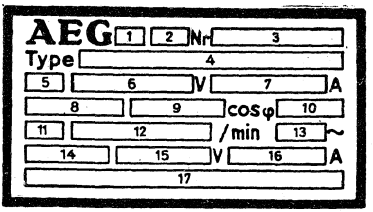


Bild 17.
Leistungsschild für Maschinen.

Leistungsschilder von Maschinen.

Die Stempelung der Leistungsschilder erfolgt für die einzelnen Benennungen mit den in nachstehender Tafel angegebenen Zeichen. In Bild 17 ist ein Schild, auf welchem die Felder entsprechend der Tafel laufend numeriert sind, dargestellt. Die Schilder werden in je fünf Größen hergestellt und für alle Maschinengattungen und Stromarten verwendet. Ungestempelte Schilder werden nicht abgegeben. Für verlorengegangene kann Ersatz nur dann geliefert werden,

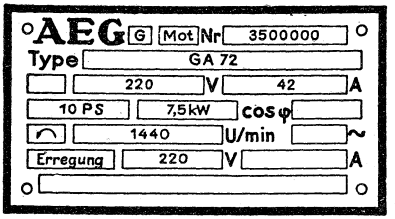


Bild 18.
Leistungsschild eines Gleichstrommotors.

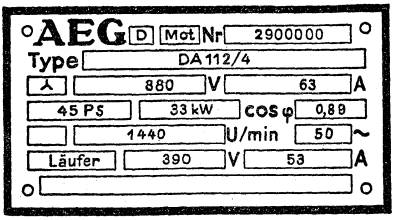


Bild 19. Leistungsschild eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer.

wenn genaue Angaben der betreffenden Maschine gemacht werden können, wie Fabrikationsnummer, Type, Spannung und Drehzahl. Diese Angaben befinden sich bei den größeren Maschinen auf der Stirnseite der Wellen, unter dem Klemmbrett und auf der Auflagefläche für die Transportöse am Gehäuse.

Tafel 5. Zeichen für die Stempelung der Leistungsschilder.

Feld		Benennung	Zeichen
1	Stromart	Gleichstrom	G
		Einphasenstrom	E
		Zweiphasenstrom	Z
		Drehstrom	D
		Sechsphasenstrom	S
2	Arbeitsweise	Generator	Gen.
		Motor	Mot.
		Blindleistungsmaschine	Bl. M. (Phas.)
		Einankerumformer	EU.
		Kaskadenumformer	KU.
3		Fabrikationsnummer	
4		Typenbezeichnung der Maschine	
5	Schaltart	Einphasen verkettet	I
		Einphasen mit Hilfsphase	⊥
		Zweiphasen verkettet	L
		Zweiphasen offen	×
		Dreiphasen in Dreieck	△
		Dreiphasen in Stern	Y
		Dreiphasen in Stern mit herausgeführtem Sternpunkt	Y
		Sechsphasen in Doppeldreieck	✡
		Sechsphasen in Sechseck	⬡
		Sechsphasen in Stern	✳
		n-Phasen, offen	In
		Durchmesserspannung	⌀

Feld		Benennung	Zeichen
6		Nennspannung	
7		Nennstrom	
8	Betriebsart	Dauerbetrieb	Kein Verm.
		Kurzzeitiger Betrieb	KB bzw. DKB*)
		Aussetzender Betrieb	AB bzw. DAB**)
9	Leistung	Nennleistung bei sämtl. Motoren, Gleichstrom- und Asynchrongeneratoren, Wechselstr.-Gleichstr.-Einankerumformer	kW
		Scheinleistung bei Synchrongeneratoren, Blindeistungsmaschinen, Gleichstrom-Wechselstrom-Einankerumformer	kVA
10		Nennleistungsfaktor***)	
11	Drehrichtung	Rechtslauf der Antriebsseite	➢
		Linkslauf der Antriebsseite	➣
12		Nenndrehzahl	
13		Nennfrequenz	
14		Erregung	
		Läufer (Angabe der Schaltart fällt bei Dreiphasenläufern fort)	
15		Nennerregerspannung	
		Läuferspannung	
16		Erregerstrom bei Nennbetrieb	
		Läuferstrom	
17		Zusätzliche Vermerke	

*) mit Angabe der Belastungsdauer.
**) mit Angabe der relativen Einschaltdauer.
***) Hinzufügung des Zeichens „u" bei Unterregung von Synchrongeneratoren, -motoren und Blindleistungsmaschinen.

In Bild 18 ist das fertig gestempelte Leistungsschild eines Gleichstrommotors und in Bild 19 dasjenige eines Drehstrommotors dargestellt.

II. Drehstrommotoren.

Drehstrommotoren werden in der Regel als **Asynchronmotoren** ausgeführt, die nachstehend zunächst behandelt werden.

Asynchronmotoren mit **Erregermaschine** siehe S. 511, **Synchronmotoren** siehe S. 510, **Drehstromkommutatormotoren** siehe S. 486.

Bauart.

Die Drehstrommotoren werden bis etwa 400 kW als Schildlagertypen gebaut. Bei der offenen Ausführung und bis zur Leistung von etwa 30 PS ist das Ständer-

blechpaket in einer geschweißten Tragkonstruktion zusammengefaßt, an welche die aus Stahl gezogenen Füße angeschweißt und die kräftigen Schildlager angeschraubt werden. Dieselben bestehen bei den kleinen Typen (bis 3 PS) aus Stahlblech, sonst aus Gußeisen. Ein Stahlblechmantel deckt das Gehäuse nach außen ab. Bei den größeren Motoren (über 30 PS), ferner bei der geschlossenen Bauart besteht auch das Gehäuse aus Gußeisen mit angegossenen Füßen.

Die Kühlluft wird bei den offenen und geschützten Bauarten beiderseits mittels Lüfterflügel am Läufer durch die Schildlageröffnungen angesaugt und durch Öffnungen im Gehäuse ausgeblasen.

Die Bauart der Motoren entspricht den Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen (R.E.M.).

Schutzarten. (Ausführungsbeispiele siehe die Bilder 20 und 21.)

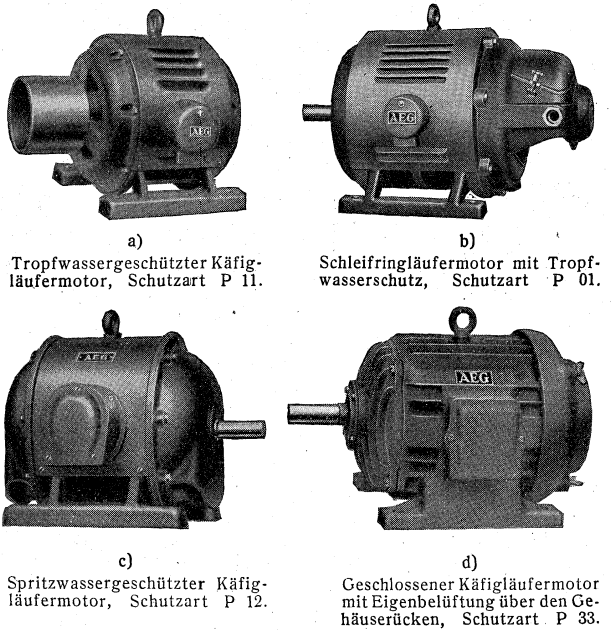
Die Drehstrommotoren werden in folgenden Schutzarten ausgeführt:

1. Offene Motoren (P 00),
   bei denen die Zugänglichkeit der stromführenden und inneren umlaufenden Teile nicht wesentlich erschwert ist. Durch die Schildlager sind Wicklungen und bei Schleifringläufern auch die Schleifringe gegen mechanische Beschädigungen geschützt.
2. Offene Motoren mit Tropfwasserschutz (P 01):
   Bei den offenen Motoren mit Schleifringläufern wird der Tropfwasserschutz durch die obere Hälfte des schleifringseitigen Schildlagers abdeckende Kappen oder Deckel vorgenommen. Die offenen Motoren mit Gußgehäuse und Kurzschlußläufer entsprechen durch ihre Bauart der Schutzart P 01. Soweit sie Öffnungen im Gehäuserücken haben, müssen diese Kappen erhalten.
3. Tropfwassergeschützte Motoren (P 11):
   Sollen die letzterwähnten Motoren zusätzlich gegen Berührung und Eindringen großer Fremdkörper geschützt werden (P 11), so erhalten die Schildlageröffnungen ringartige Abdeckungen.
   Die Stahlmotoren mit Kz-Läufer entsprechen durch ihre Bauart bereits P 11, da die Luftaustrittschlitze so angeordnet sind, daß Tropfwasser und große Fremdkörper nicht in die Maschine eindringen können.
   Bei den kleineren Motoren mit Schleifringläufer (etwa bis 15 PS), die mit Gußgehäuse ausgeführt sind, wird die Schutzart P 11 durch Kappen über den Lüftungsschlitzen und Verkapslung der Schleifringe erreicht.
4. Spritzwassergeschützte Motoren (P 12 und 22):
   Die kleineren und mittleren Kz-Motoren werden auch in Schutzart P 12 hergestellt, wobei die Kühlluft durch Öffnungen auf der Unterseite beider Schildlager angesaugt und auf den Längsseiten über dem Fuß ausgeblasen wird. Durch Verschließen dieser Öffnungen durch Drahtgitter ergibt sich P 22 (Schutz gegen Eindringen kleiner Fremdkörper).
   Bei den größeren Motoren (etwa ab 30 PS) wird von vornherein bei Spritzwasserschutz ein solcher Abschluß durchgeführt, so daß sie damit der Schutzart P 22 entsprechen.
5. Geschlossene Motoren (P 33)
   werden in verschiedenen Ausführungsformen hergestellt.
   Geschlossene Motoren mit Rohranschluß (für Motoren über 30 PS), bei denen das Gehäuse und die Schildlager vollkommen geschlossen sind. Das schleifringseitige Schildlager hat aufklappbare Deckel zur Bedienung der Schleifringe. Die Schildlager haben Rohranschlüsse für die Zu- und Abführung der Kühlluft, die durch einen auf dem Läufer angeordneten Lüfter aus dem Nebenraum oder aus dem Freien angesaugt wird.
   Geschlossene Motoren mit Außenbelüftung, bei denen sich der Ventilator außerhalb des antriebsseitigen Schildlagers befindet. Er ist durch eine Haube, die Schlitze zur Luftzuführung hat, gegen Berührung geschützt. Der Luftstrom

kühlt den Rücken des Motorgehäuses, das mit Rippen versehen ist. Das Motorinnere ist vollständig abgeschlossen. Die Klemmen sind gegen feinen Staub und Wasserdampf geschützt (P 44).

Gekapselte Motoren, die vollkommen geschlossen sind und weder Zu- noch Abführung der Kühlluft besitzen. Die Kühlung der gekapselten Motoren erfolgt nur durch Wärmeleitung, -strahlung und den natürlichen Luftstrom. Sie haben ebenfalls Rippen auf dem Gehäuserücken.

Für Sonderzwecke werden Motoren druckfest, explosions- sowie schlagwettergeschützt ausgeführt.



a) Tropfwassergeschützter Käfigläufermotor, Schutzart P 11.

b) Schleifringläufermotor mit Tropfwasserschutz, Schutzart P 01.

c) Spritzwassergeschützter Käfigläufermotor, Schutzart P 12.

d) Geschlossener Käfigläufermotor mit Eigenbelüftung über den Gehäuserücken, Schutzart P 33.

Bild 20.
Schutzarten von Drehstrommotoren kleinerer Leistung (bis etwa 30 PS)

Drehrichtung.

Welche Drehrichtung der Motor annimmt, kann nicht vorausbestimmt werden. Läuft der Motor nicht im gewünschten Sinne, soll also seine Drehrichtung geändert werden, so vertausche man am Hebelschalter zwei beliebige Leitungen miteinander. Die Drehrichtung eines Motors wird, auf die Antriebsseite gesehen, bezeichnet mit Rechtslauf (im Uhrzeigersinn) oder Linkslauf (entgegen dem Uhrzeigersinn).

Wahl der Läuferart.

Motoren mit Käfigläufer haben keinerlei Stromzuführung zum Läufer. Regelschleifringläufer-Motoren besitzen drei Schleifringe mit dauernd aufliegenden Bürsten. Anlaßschleifringläufer unterscheiden sich von letzteren nur durch die Vorrichtung zum Abheben der Bürsten und Kurzschließen der Schleifringe nach erfolgtem Anlassen, laufen also während des eigentlichen Betriebes ohne Bürstenabnutzung.

Regelschleifringläufer sind nur dann vorzusehen, wenn häufiges Anfahren oder Umkehren der Drehrichtung oder Drehzahlregelung während des Betriebes erforderlich ist.

Wo solche besonderen Anforderungen nicht gestellt werden, also für die weitaus größte Zahl der Anwendungsfälle, bildet der Käfigläufermotor die Regel. Er genügt hinsichtlich Anlaufstrom und Anzugmoment in den meisten Fällen den gestellten Anforderungen und hat dem Schleifringläufermotor den Vorteil einfachster Bauart (Wegfall der Schleifringe und Bürsten) und des einfachsten Anlaßgerätes voraus.

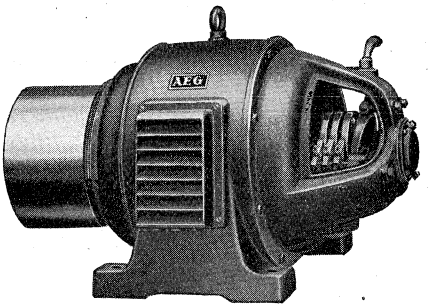
Käfigläufer.

Die Motoren kleiner und mittlerer Leistung werden mit **Einfachnutläufer,** die größeren mit **Doppelnutläufer** ausgeführt. Bei den kleineren Motoren erhält man mit

dem Einfachnutläufer bereits so geringe Einschaltströme, daß eine besondere Ausführung nicht erforderlich ist.

Um den von der Wirtschaftsgruppe Elektrizitätsversorgung aufgestellten Anschlußbedingungen zu genügen, ist wie folgt zu planen:

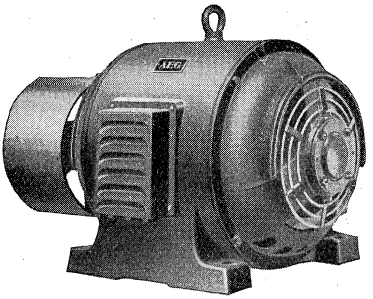
Für Leistungen bis 1,1 kW/1,5 PS: Motoren mit Käfigläufer ohne Sterndreieckschalter für unmittelbare Einschaltung.



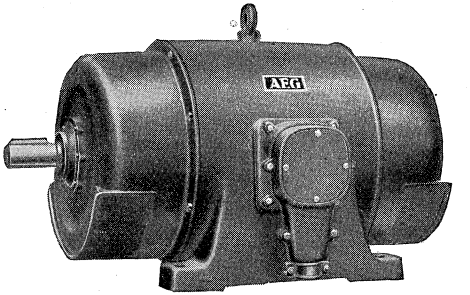
a) Offener Schleifringläufermotor, Schutzart P 00.



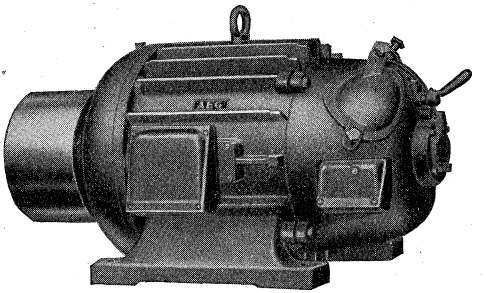
b) Offener Käfigläufermotor mit Tropfwasserschutz, Schutzart P 01.



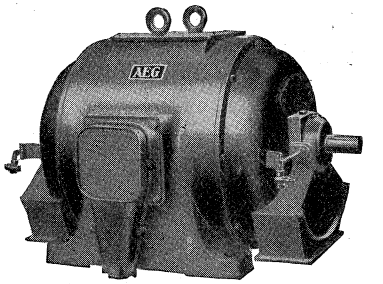
c) Tropfwassergeschützter Käfigläufermotor, Schutzart P 11.



d) Spritzwassergeschützter Schleifringläufermotor, Schutzart P 22.



e) Geschlossener Drehstrommotor mit Anlaßschleifringläufer mit Außenbelüftung, Schutzart P 33.



f) Geschlossener Käfigläufermotor für Rohranschluß, Schutzart P 33.

Bild 21. Schutzarten von Drehstrommotoren größerer Leistung.

Für größere Leistungen:

1. Vollastanlauf (unmittelbare Einschaltung) bei einer Anlaufscheinleistung nicht größer als 13 kVA. Dem entsprechen die normalen Käfigläufermotoren der Typen DB und DBJ bis zu den Größen 8/2, 11/4, 22/6, 30/8.
2. Halblastanlauf. Motoren mit Käfigläufer (Einfach- und Doppelnutläufer) mit Sterndreieckschalter.

Nachstehende Tafel 6 gibt eine Übersicht über Einschaltstrom und Anzugsmoment von Käfigläufermotoren in offener und tropfwassergeschützter Bauart für Einschalten ohne und mit Sterndreieckschalter sowie der geschlossenen Ausführung.

Tafel 6. Einschaltstrom*) und Anzugsmoment der normalen Käfigläufermotoren.

Ja : Jn = Einschaltstrom : Nennstrom, Ma : Mn = Anzugsmoment : Nennmoment,

Polzahl	Drehzahl U/min	Leistung kW	Ja:Jn etwa bei Einschaltung		Ma:Mn etwa bei Einschaltung	
			direkt	Y/△	direkt	Y/△
Motoren, offen und tropfwassergeschützt						
2	3000	1,3 ...3,3	4,7 ...5,5	1,5 ...1,7	2 ...2,5	0,6 ...0,7
4	1500	0,8 ...1,1	4,5	—	1,8 ...2,0	—
		1,5 ...22	5 ...5,5	1,6 ...1,7	2 ...2,4	0.55...0,65
6	1000	0,48...1,25	3 ...4	—	1,6 ...1,8	—
		1,8 ...15	4,5 ...5,5	1,4 ...1,7	1,8 ...2,3	0,5 ...0,65
8	750	0,37...1,3	3 ...4	—	1,8	—
		1,8 ...12,5	4,5 ...5,5	1,4 ...1,7	1,8 ...2,2	0,5 ...0,6
Motoren, geschlossen						
2	3000	1,1 ...4	5,5 ...6,5	1,8 ...2,2	2,5 ...3	0,65...0,85
		5 ...17	6 ...7	1,8 ...2,2	2,5 ...3	0,65...0,85
4	1500	0,8 ...1,1	5,5 ...6,5	—	2,3 ...2,8	—
		1,5 ...15	5,5 ...7	1,8 ...2,2	2,3 ...2,8	0,65...0,75
6	1000	0,55...0,95	3,5 ...4	—	1,7 ...1,9	0,55...0,65
		1,8 ...11	4,5 ...6	1,3 ...1,9	1,9 ...2,5	0,55...0,65
8	750	0,44...1,5	3,5 ...4	—	1,6 ...2	—
		1,5 ...8	4,5 ...6	1,3 ...1,9	1,8 ...2,2	0,5 ...0,65

*) Die Angaben über den Einschaltstrom normaler Käfigläufermotoren gelten mit ± 20% VDE 0530, Tafel XIII).

Für die größeren Motoren mit Doppelnutläufer gelten folgende Werte:

bei unmittelbarer Einschaltung Ma : Mn = 1,3...2
Ja : Jn = 4 ...5,5

Die höheren Werte gelten für schnellaufende, die kleineren für langsamlaufende Motoren. Beim Anlassen mit Sterndreieckschalter gehen die Werte auf etwa ein Drittel zurück.

Für Fälle, in welchen Sonder-Anschlußbedingungen unmittelbare Einschaltung gestatten und diese erwünscht ist (z. B. Antriebe mit selbsttätiger Einschaltung), werden Sonderdoppelnutmotoren mit geringerem Einschaltstrom hergestellt **(Industriemotoren).**

Bei den Motoren nach obiger Tafel geht hierbei die Leistung um etwa 15% zurück, das Verhältnis Ma:Mn ist etwa 1,2, Ja : Jn etwa 3 ... 3,5. Bei den größeren Typen ist bei gleichbleibender Leistung Ma : Mn etwa 1 ... 1,5, Ja : Jn etwa 3,5 ... 4,5.

Es werden auch Sonderdoppelnutmotoren für andere Anlaufverhältnisse hergestellt. Bei Bestellung auf alle Motoren mit Sonderläufer ist ein Hinweis mit genauer Angabe der Betriebsbedingungen (Anzugsmomente, Anlaufstrom, Schwungmassen und Anlaufhäufigkeit) unbedingt erforderlich.

Bei Bestellung von Motoren für Sterndreieckanlauf ist ausdrücklich die Netzspannung, mit der die Motoren in Dreieckschaltung betrieben werden sollen, anzugeben; z. B. „für Y△-Schaltung bei 220 V Netzspannung".

Die Anzugsmomente der größeren Motoren bei Anlassen mit Sterndreieckschalter reichen erfahrungsgemäß für mindestens 95% aller Antriebe aus.

Nur in den wenigen Fällen, in denen ein größeres Anzugsmoment verlangt wird, ist entweder eine Fliehkraftriemenscheibe vorzusehen oder, wenn zulässig, ein Sonderdoppelnutläufer zu verwenden oder ein Motor mit Schleifringläufer.

Schleifringläufer.

Schleifringmotoren entwickeln bei Nennstrom unter Einschalten eines bestimmten Läuferwiderstandes ungefähr das Nenndrehmoment und bei entsprechend größerer Stromaufnahme das 1,6. .. 2,5fache des Nenndrehmomentes.

Für Regelbetriebe ist zu beachten, daß bei Abwärtsregelung infolge verringerter Belüftung mit einer Abnahme des Drehmomentes zu rechnen ist, und zwar sinkt dasselbe im Dauerbetrieb bei einer Regelung

von 25% um etwa 10%,
von 50% um etwa 25%.

Drehzahlreglung.

Die Verwendung von Schleifringläufermotoren und Dauerregelwiderständen gibt die Möglichkeit, eine gewisse Drehzahlreglung durchzuführen. Nachteilig ist bei dieser Anordnung, daß es sich um eine Verlustreglung handelt, wobei die Schlupfenergie im Regelwiderstand in Wärme umgesetzt wird. Bei einer größeren Drehzahlverminderung zeigt der Motor im übrigen Hauptstromverhalten, d. h. seine Drehzahl ist stark lastabhängig. Ähnliche Eigenschaften zeigen Drehstrom-Reihenschluß-Kommutatormotoren, die früher zum Antrieb von Spinnmaschinen in größerer Zahl Verwendung fanden, heute aber lediglich noch zum Antrieb von Arbeitsmaschinen benützt werden, deren Drehmoment bei der jeweils eingestellten Geschwindigkeit praktisch konstant bleibt. (Kreiselpumpen — Kompressoren.)

Eine Regelung in weiten Grenzen bei brauchbaren Betriebseigenschaften ermöglicht der Drehstrom-Kommutatormotor mit Nebenschlußverhalten. Er wird als ständergespeister oder läufergespeister Motor gebaut.

Der ständergespeiste Motor hat eine normale Netzwicklung, die Primärwicklung, die in den Nuten des Ständerblechpaketes liegt und die an das Drehstromnetz angeschlossen wird. Der Läufer besitzt eine einfache Gleichstromwicklung, die mit dem Kommutator verbunden ist. Auf den Motor ist ein Drehregler (Drehumspanner) aufgebaut (Bild 22), dessen Primärseite parallel zur Ständerwicklung des Kommutatormotors an das Drehstromnetz angeschlossen ist. Die Sekundärwicklung des Drehumspanners, die Regelwicklung, wird an die Bürsten des Kommutatormotors geführt. In Reihe mit dieser Sekundärwicklung liegt eine Hilfswicklung, die in den Ständer-

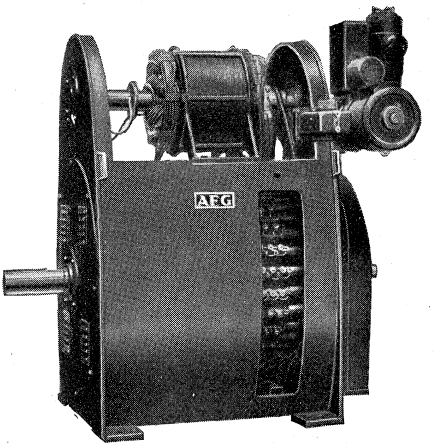


Bild 22.
Ständergespeister Drehstrom-Kommutatormotor (Schutzkappe über dem Drehregler abgenommen)

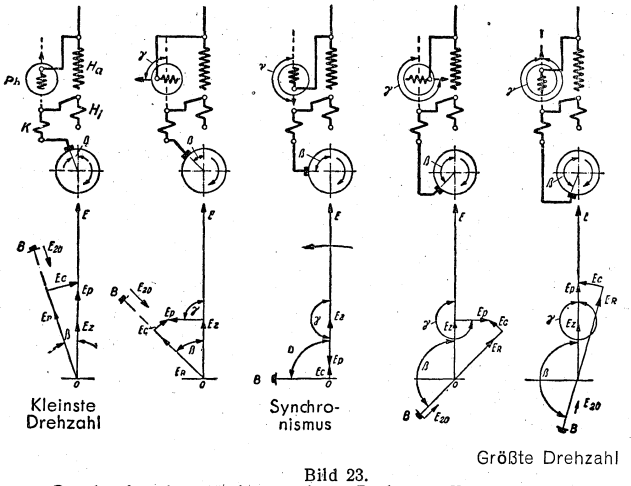


Bild 23.
Regelstufen des ständergespeisten Drehstrom-Kommutatormotors.

nuten des Kommutatormotors untergebracht ist und die transformatorisch von der Primärwicklung des Motors gespeist wird, also eine stets richtungsfeste Spannung erhält. Diese richtungsfeste Spannung Ez (Bild 23) setzt sich mit der in der Phasenrichtung veränderlichen Spannung Ep der Regelwicklung (geometrisch) zu einer Summenspannung Er zusammen, die über die Bürsten des Motors dem Läufer aufgedrückt wird. Diese Summenspannung Er bestimmt die Drehzahl des Motors in Verbindung mit der im Läufer verlaufenden Läuferstillstandsspannung E20, und zwar ist die Drehzahl synchron, wenn die Summenspannung Er null ist; sie ist untersynchron, wenn die Summenspannung Er gegen die Läuferstillstandsspannung E20 gerichtet ist, und übersynchron, wenn beide Spannungen gleiche Richtung besitzen. Um schädigende Ausgleichsspannungen im Läufer zu verhindern, müssen die Summenspannung Er und die Läuferstillstandsspannung E20 auf der gleichen Achse (Vektor) liegen. Da nun die Läuferstillstandsspannung E20 stets in der Richtung der Bürstenachse verläuft, die Richtung der Summenspannung Er von dem Verstellwinkel des Drehumspanners abhängig ist, muß eine gleichzeitige, zwangsläufige Verdrehung von Drehumspanner und Bürstenbrücke vorgesehen werden. Zu diesem Zweck ist die Bürstenbrücke durch eine Kettenanordnung mit der Drehreglerwelle gekuppelt.

Eine senkrecht zur Summenspannung Er gerichtete Kompensationsspannung Ec wird durch eine geringe Verschiebung der Bürsten gewonnen und dient zur Verbesserung des Leistungsfaktors des Motors.

Bei der läufergespeisten Bauart (Bild 24) ist die Netzwicklung, die Primärwicklung, in den Nuten des Läuferblechpaketes untergebracht und über Schleifringe an das Drehstromnetz angeschlossen. In den gleichen Läufernuten ist ein zweites Wicklungssystem, die Regelwicklung, angeordnet, welches an den Kommutator angeschlossen ist. Zwei gegeneinander ver-

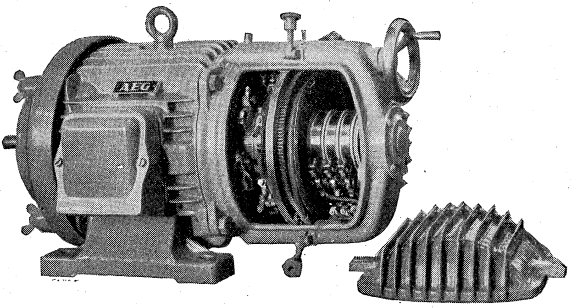


Bild 24. Läufergespeister Drehstrom-Kommutatormotor (Lagerschilddeckel abgenommen).

schiebbare Bürstensätze auf dem Kommutator sind mit einer in den Nuten des Ständerblechpaketes eingelegten Wicklung, der Sekundärwicklung, verbunden. Hierbei sind die drei Anfänge der Sekundärwicklung zu je einem Bürstenpaar auf dem einen Bürstenjoch, die drei Enden zu je einem Bürstenpaar auf dem anderen Bürstenjoch geführt.

Bei Anschluß der Primärwicklung an das Netz werden in der Regelwicklung und der Sekundärwicklung Spannungen induziert. Die Frequenz der am Kommutator abzunehmenden Regelspannung stimmt bei jedem Betriebszustand mit der Frequenz der Sekundärspannung, der Schlupffrequenz, überein; sie ist also bei synchronem Lauf (z. B. 1500 U/min) Null und im Stillstand gleich der Netzfrequenz. Stehen die mit dem Anfang bzw. Ende einer Phase der Sekundärwicklung verbundenen Bürsten jeweils auf demselben Kommutatorsegment, so ist die Wicklung kurzgeschlossen, von der Regelwicklung wird keine Spannung abgenommen, sie ist stromlos. Der Motor arbeitet dann wie ein normaler Asynchronmotor mit Speisung im Läufer. Er nimmt im Leerlauf praktisch seine Synchrondrehzahl von 1500 U/min an, die Sekundärspannung und der Sekundärstrom sind Null. Bei Belastung schlüpft der Motor um so viel, daß die induzierte Sekundärspannung ausreicht, um den für die Erzeugung des geforderten Drehmomentes notwendigen Strom zu liefern.

Werden die Bürsten nun durch Drehung des Handrades gegeneinander verschoben, so wird der Regelwicklung über den Kommutator eine Spannung entnommen, deren Größe und Richtungssinn durch die Größe und den Richtungssinn der Verschiebung zwischen zusammengehörigen Bürsten gegeben sind. Diese Spannung wird der Sekundärwicklung zugeführt und ergibt zusammen mit der von der Primärwicklung in der Sekundärwicklung induzierten Schlupfspannung die resultierende Sekundärspannung.

Diese ergibt, ähnlich wie beim ständergespeisten Kommutatormotor, einen Lauf des Motors mit entsprechenden über- oder untersynchronen Drehzahlen.

Läufergespeiste Motoren werden für kleinere, ständergespeiste dagegen für größere Leistungen gebaut. Die Ständerspeisung hat den Vorteil, daß die Netzwicklung gegebenenfalls für Anschluß an Hochspannung ausgelegt werden kann.

Der Regelbereich ist im allgemeinen für eine Drehzahländerung im Verhältnis 1:3 vorgesehen. Es ist auch möglich, ihn größer zu wählen. Die Kühlluftbewegung erfolgt meist durch einen auf der Welle angeordneten Lüfter. Da dieser bei kleinen Geschwindigkeiten unwirksam wird, erhalten Motoren mit großem Dauerregelbereich zusätzliche Fremdlüftung. Bei den ständergespeisten Motoren wird dabei ein besonderer Lüftermotor außen angeflanscht und treibt den auf seiner Welle sitzenden Lüfter mit gleichbleibender Geschwindigkeit.

Falls keine stufenlose Regelung der Drehzahl erforderlich ist, sondern nur zwei bis vier Drehzahlen benötigt werden, so können polumschaltbare Drehstrommotoren Verwendung finden, bei denen die Polzahl der Ständerwicklung durch Umschaltung geändert werden kann.

Eine sehr feinstufige, lastunabhängige Regelung läßt sich bei Drehstromnetzen durch die Leonardschaltung erreichen, bei welcher eine Umformung des Drehstromes in Gleichstrom vorgenommen wird (vgl. S. 108). Die Schaltung dient zugleich als Anlaßschaltung. Zum Antrieb der Arbeitsmaschine (Fördermaschine, Aufzüge, Krane, Gebläse, Pumpen, Hobelmaschinen und anderer Werkzeugmaschinen, Walzenstraßen, Maschinen der Papier- und Textilindustrie usw.) dient ein Gleichstromnebenschlußmotor, dessen Anker mit dem Anker eines Gleichstromgenerators hintereinandergeschaltet ist, der durch einen Drehstrom-Asynchronmotor angetrieben wird. Das Anlassen und Regeln des Motors der Arbeitsmaschine erfolgt durch Verändern des Feldes des Gleichstromgenerators mittels Feldwiderstandes. Der Felderregerstrom von Generator und Arbeitsmotor wird durch eine auf der Welle des Umformers angeordnete Erregermaschine oder durch einen besonderen kleinen Umformer erzeugt. Die Regelung kann beliebig feinstufig ausgeführt werden. Zu schalten ist nur der verhältnismäßig geringe Erregerstrom.

Die Umformung in Gleichstrom kann auch mittels eines Gleichrichters erfolgen, wobei die Regelung durch eine Gittersteuerung vorgenommen wird.

Antriebsart.

Die Motoren werden im allgemeinen mit einem normalen, zylindrischen Wellenende geliefert, können aber auch auf Bestellung mit einem zweiten, an der Gegenseite vorstehenden Wellenende ausgeführt werden. Bei der Bemessung von Riemenscheiben soll nicht unter den angegebenen kleinstzulässigen Durchmesser gegangen werden, um einem zu starken Riemenzuge und damit erhöhter Lagerbeanspruchung vorzubeugen. Ist man zur Anwendung einer kleineren Riemenscheibe bei großer Gegenscheibe und kurzer Wellenentfernung gezwungen, so sind Spannrollen zu empfehlen.

Aufstellungsart.

Die normal mit Kugellagern versehenen Käfigläufermotoren bis zu Leistungen von etwa 20 PS können in jeder Lage arbeiten, z. B. auch mit senkrechter Welle. Zusätzliche Gewichte außer einer Riemenscheibe oder einer Kupplungshälfte vermögen normale Kugellager nicht aufzunehmen. Im Bedarfsfalle ist Rückfrage erforderlich.

Bei den größeren Motoren müssen bei senkrechter Anordnung die Rollenlager durch Kugellager ersetzt und unter Umständen zusätzliche Drucklager vorgesehen werden.

Genaue Angaben über Riemenzug, Zahndruck bei Ritzeln, Größe und Richtung des Axialschubes oder eine zusätzliche Axiallast sind erforderlich.

Auch bei Schleifringläufermotoren wird in diesem Falle eine Sonderausführung geliefert.

Auch die mit Gleitlagern versehenen Motoren können für Befestigung an der Wand oder an der Decke geliefert werden, da die Lagerschilde um 90° bzw. 180° verdreht werden können. Die Welle muß jedoch hierbei stets horizontal liegen. Werden diese Motoren für Wandbefestigung bestellt, so ist anzugeben, ob die Antriebsseite rechts oder links, auf den Motor gesehen, und das Klemmbrett oben oder unten liegen soll.

Untersuchung.

Wird eine Maschine zwecks Instandsetzung auseinandergenommen, so muß dafür gesorgt werden, daß die Verbindungen der Wicklungen innerhalb der Maschine genau so wiederhergestellt werden, wie sie vor dem Auseinandernehmen waren. Zu dem Zwecke ist es notwendig, die Drähte mit den Buchstaben zu bezeichnen, die die Klemmen tragen, mit denen sie verbunden sind.

Schaltung.

Die Motoren werden listenmäßig für die Spannungen von 125, 220, 380 und 500 V gebaut.

Drehstrommotoren müssen immer so mit dem Netz verbunden werden, daß die drei Zuleitungsdrähte an die mit U V W bezeichneten Motorklemmen angeschlossen werden. Die anderen drei Enden der Wicklungen des Motors werden an Klemmen mit den Bezeichnungen X Y Z angeschlossen; sie lassen sich in zwei Arten schalten. Verbindet man alle drei miteinander, so ist der Motor in Stern geschaltet. Bei Motoren mit zwei Ständerklemmenbrettern befinden sich U V W auf der einen, X Y Z auf der anderen Seite; die Zuleitungen können an einer der beiden Seiten angeschlossen werden. Der Sternpunkt muß dann an der gegenüberliegenden Seite gebildet werden.

Verbindet man

die Klemme X mit der Klemme W,
die Klemme Y mit der Klemme U,
die Klemme Z mit der Klemme V,

so ist der Motor in Dreieck geschaltet. Diese Schaltung ist wichtig für Motoren mit Käfigläufer, die mittels Sterndreieckschalter angelassen werden, die also in Betriebsstellung

in Dreieck geschaltet sind und in der Anlaufstellung vorübergehend in Stern an die Netzspannung gelegt werden. Steht also z. B. ein 220-V-Netz zur Verfügung, so wird ein Motor gewählt, der für 220 V Dreieck und 380 V Stern gebaut ist.

Das Anlassen von Käfigläufermotoren kann, wenn die Anschlußbedingungen dies zulassen, mittels Anlaßschalter ohne Anlaßstufe erfolgen (vgl. Seite 506). Sonst sind Sterndreieckschalter oder unter Umständen Anlaßumspanner zu verwenden. Bei den Sterndreieckschaltern hat das Anlassen so zu erfolgen, daß auf der Sternstellung das Hochlaufen des Motors abgewartet und dann erst in die Dreieckschaltung (Betriebsstellung) umgeschaltet wird.

Beim Anlassen von Motoren mit Regel-Schleifringläufer sind der Hauptschalter und der Anlasser und bei Anlaß-Schleifringläufer-Motoren noch die Bürstenabhebevorrichtung in ganz bestimmter Reihenfolge zu bedienen. Bevor man den Motor anläßt, überzeuge man sich zunächst davon, daß am Motor die Bürsten auf den Schleifringen aufliegen und der Anlasser auf Stellung „Aus" steht. Erst dann bediene man die Geräte in folgender Reihenfolge:

1. Den Schalter einschalten;
2. Die Kurbel des Anlassers langsam bis in die Endstellung drehen (über Anlaufzeit siehe Seite 509);
3. Die Bürsten am Motor abheben (bei Anlaßschleifringmotoren).

Beim Stillsetzen des Motors verfahre man folgendermaßen*):

1. Den Hauptschalter ausschalten;
2. Die Kurbel des Anlassers in die Ausschaltstellung bringen;
3. Die Bürsten am Motor auflegen (bei Anlaßschleifringmotoren).

Bei Anlassern mit Feldschalter und mit Überstrom-Spannungrückgangs-Schütz treten die Feldschalter bzw. die Schützen an Stelle der Schalter. Sie sind mechanisch oder elektrisch zwangläufig mit dem Anlasser verbunden. Bei Regelschleifringläufern ist daher nur ein Handgriff zum Anlassen nötig; beim Anlaßschleifringläufer kommt die Betätigung der Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung hinzu.

Anlassen	Stillsetzen
1. Die Kurbel langsam einschalten;	1. Die Bürsten auflegen (beim Anlaßläufer);
2. Die Bürsten abheben (beim Anlaßläufer)	2. Die Kurbel schnell ausschalten.

Drehstrommotoren können auch mit angebauter Anlaßvorrichtung (Schaltwalze) geliefert werden. Bei diesen Motoren ist die richtige Reihenfolge der Anlaßvorgänge einschließlich Bürstenabheben durch die Bauart sichergestellt. Eine falsche Bedienung ist ausgeschlossen.

Die Bürsten des Motors müssen sorgfältig behandelt und vor Inbetriebnahme gut aufgeschliffen sein. Man beachte die Behandlungsvorschriften, die mit dem Motor mitgeliefert werden.

III. Zweiphasen-Wechselstrom-Motoren.

Die normal für Drehstromwicklung bestimmten Motoren können auch für Zweiphasenstrom ausgelegt werden. Die Leistung ist hierbei 10 v. H. niedriger als in den Leistungstafeln für Drehstrommotoren angegeben. Der Wirkungsgrad bleibt annähernd derselbe, der Leistungsfaktor wird etwas niedriger.

Bei Bestellung der Zweiphasenmotoren ist Angabe der Schaltung des zur Verfügung stehenden Verteilungsnetzes unbedingt erforderlich.

Offen und unverkettet (vier Leitungen).
Spannungsangabe z. B.: 2×170 V, Netzspannung 170 V.
Außenverkettet (drei Leitungen).
Spannungsangabe z. B.: 2×170 V und 1×240 V.

*) Bei Hochspannungsmotoren sind die dem Motor beigefügten Vorschriften zu beachten.

IV. Gleichstrommotoren.

Bauart.

Die Gleichstrommotoren werden bis etwa 300 kW als Schildlagertypen aus rundem Stahlgehäuse mit angeschweißten Füßen und gegossenen Schildlagern ausgeführt. Ausgenommen sind kleinere Motoren (1 bis 3 PS), die Gußgehäuse mit angegossenen Füßen haben. Zur Umwälzung der Kühlluft besitzen die Motoren einen Lüfter, der innerhalb des antriebsseitigen Schildlagers mit umläuft. Die Lüfterflügel stehen radial, so daß die Drehrichtung des Motors ohne Einfluß auf die Kühlung ist. Gleichstrommotoren werden normal als Nebenschlußmotoren geliefert. Die Bauart der Motoren entspricht den Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen (R.E.M.). Alle Motoren sind mit Kohlebürsten ausgerüstet und besitzen mit geringen Ausnahmen Hilfspole.

Schutzarten (Ausführungsbeispiele s. die Bilder 25 und 26).

Die Gleichstrommotoren werden in folgenden Schutzarten ausgeführt:

1. Offene Motoren (Schutzart P 00),
   bei denen die Zugänglichkeit der stromführenden und inneren umlaufenden Teile nicht wesentlich erschwert ist. Durch das überragende Polgehäuse und die Schildlager sind Wicklungen und Kommutator gegen mechanische Beschädigungen geschützt. Das Kommutatorschildlager hat große Öffnungen zur Bedienung der Bürsten, das Antriebsschildlager Öffnungen zum Durchzug der Kühlluft.
2. Offene Motoren mit Tropfwasserschutz (P 01):
   Die offenen Motoren können durch Anbringen einer Abdeckhaube oder eines Abdeckblechs über der oberen Hälfte des kommutatorseitigen Schildlagers tropfwassersicher ausgeführt werden. Das antriebseitige Schildlager ist tropfwassersicher.
3. Tropfwassergeschützte Motoren (P 11),
   bei denen das Kommutatorschildlager durch aufklappbare jalousieartige Deckel geschlossen ist, so daß neben dem Tropfwasserschutz die stromführenden und inneren umlaufenden Teile gegen das Eindringen größerer Fremdkörper geschützt sind. Die Deckel erhalten jalousieartige Öffnungen. Größere Öffnungen für den Luftein- und -austritt werden mittels gelochter Bleche verschlossen (zugleich Schutz gegen zufällige Berührung). Kleinere Motoren (1 bis 3 PS) werden bei Tropfwasserschutz nur mit diesen Deckeln geliefert, entsprechen also ohne weiteres der Schutzart P 11.
4. Spritzwassergeschützte Motoren (P 22):
   Hierfür wird bei den meisten Typen die Ausführung unter 5 (schwallwassergeschützt) verwendet, oder es werden nur die Lufteintrittsöffnungen durch Hauben abgedeckt, die Luftaustrittsöffnungen durch Gitterblech verdeckt. Zugleich wird Schutz gegen kleine feste Fremdkörper erreicht.
5. Schwallwassergeschützte Motoren (P 23):
   Das Eindringen von Wassertropfen und Wasserstrahlen aus beliebiger Richtung ist verhindert. Die Maschine ist allseitig geschlossen, mit Ausnahme der Luftein- und -austrittsöffnungen. Diese sind mit Hauben abgedeckt, deren Ausführung eine Kühlluftbewegung gestattet, dagegen in beliebiger Richtung auftreffende Wasserstrahlen so bricht und ablenkt, daß sie in das Maschineninnere nicht eindringen.
   Für feuchte Räume sind spritz- oder schwallwassergeschützte Motoren den ganzgekapselten Maschinen vorzuziehen. Eingedrungene Feuchtigkeit kann infolge der Belüftung des Motorinneren bei Betriebserwärmung immer wieder verdunsten.
6. Geschlossene Motoren (P 33)
   kommen in verschiedenen Ausführungen zur Verwendung.
   Geschlossene Motoren für Rohranschluß haben Schildlager mit wahlweise oben oder unten angeordneten Stutzen zum Anschluß der Rohrleitungen für

die aus dem Nachbarraum oder Freien zu entnehmende Kühlluft. Antriebsseitig kann auch ein normales Schildlager ohne Anschlußstutzen verwendet werden. Der Luftaustritt erfolgt dann in den Aufstellungsraum.

Geschlossene Motoren mit Außenbelüftung, bei denen das Maschineninnere gegen die Außenluft vollkommen abgeschlossen ist. Ein auf der Antriebsseite zwischen Schildlager und einer besonderen Haube mit der Welle umlaufender Lüfter bläst in kräftigem Luftstrom Kühlluft über die Gehäuseoberfläche. Die Kühlluft kommt mit den Wicklungen selbst nicht in Berührung.

Gekapselte Motoren, die vollkommen geschlossen sind und weder Zu- noch Abführungen für die Kühlluft besitzen. Die Kühlung der gekapselten Motoren erfolgt nur durch Wärmeleitung, -strahlung und den natürlichen Luftstrom.

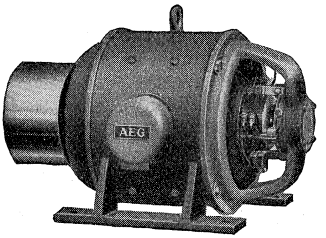
7. Sonderausführungen:
Für Sonderzwecke werden Motoren druckfest, schlagwettergeschützt und explosionsgeschützt je nach den Betriebsverhältnissen ausgeführt.

Das antriebsseitige Schildlager kann auch mit Flansch ausgebildet werden für waagerechte oder senkrechte Anordnung. Senkrechtmotoren erhalten bei offener Ausführung eine Schutzhaube gegen Tropfwasser.

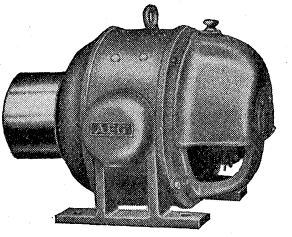
Anbaumotoren besitzen kein antriebsseitiges Schildlager, sondern werden mit dem Gehäuse an die anzutreibende Maschine angeflanscht. Einbaumotoren bestehen nur aus dem Gehäuse ohne Füße, dem Anker mit Kommutator, Welle und Lüfter.

Drehrichtung.

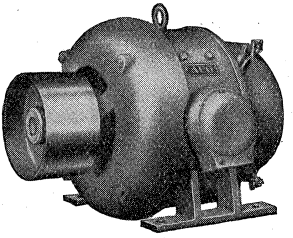
Bei Bestellung ist der Drehsinn des Motors anzugeben, und zwar ob Rechtslauf im Uhrzeigersinn oder Linkslauf entgegen dem Uhrzeigersinn, auf die Antriebsseite gesehen, gewünscht wird. Die Motoren werden normal für Rechtslauf geliefert. Eine



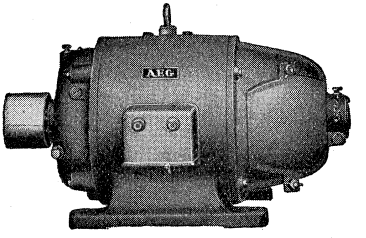
a) Offener Motor, Schutzart P 00.



b) Offen mit Tropfwasserschutz, Schutzart P 01.

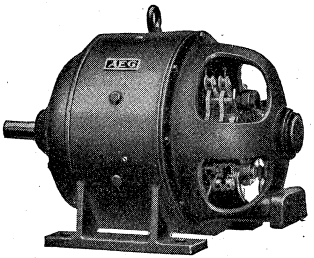


c) Geschlossener Motor mit Außenbelüftung, Schutzart P 33.

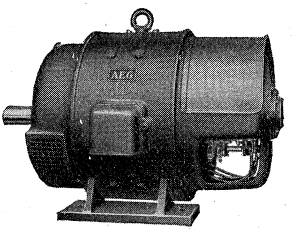


d) Geschlossener Motor, Schutzart P 33.

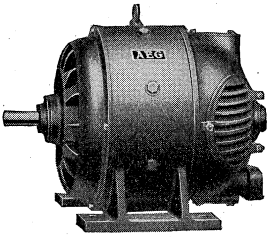
Bild 25. Schutzarten von Gleichstrommotoren kleinerer Leistung (bis etwa 15 PS).



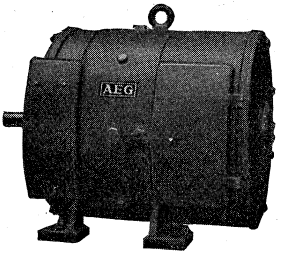
a) Offener Motor, Schutzart P 00.



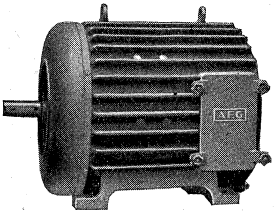
b) Offener Motor mit Tropfwasserschutz, Schutzart P 01.



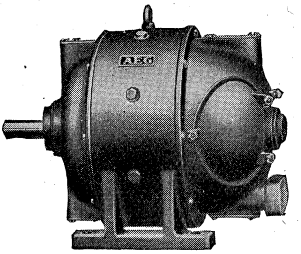
c) Tropfwassergeschützter Motor, Schutzart P 11.



d) Spritz- und schwallwassergeschützter Motor, Schutzart P 23.



e) Geschlossener Motor mit Außenbelüftung, Schutzart P 33.



f) Geschlossen mit Rohranschluß, Schutzart P 33.

Bild 26. Schutzarten von Gleichstrommotoren größerer Leistung.

Umschaltung der Drehrichtung ist an Ort und Stelle durch Umlegen der Brücke am Klemmbrett des Motors stets möglich. (Siehe unter Schaltung von Gleichstrommotoren und Anlassern.) Sind Motoren für wechselnde Drehrichtung (Umkehrbetrieb) erforderlich, so können bei Leistungen bis etwa 20 PS die normalen Ausführungen verwendet werden; bei größeren Motoren ist rückzufragen und bei Bestellung ausdrücklich „Umkehrbetrieb" anzugeben.

Antriebsart.

Die Motoren werden im allgemeinen mit einem normalen zylindrischen Wellenende geliefert, können aber auch auf Bestellung mit einem zweiten an der Kollektorseite vorstehenden Wellenende ausgeführt werden. Bei der Bemessung von Riemenscheiben soll nicht unter den kleinstzulässigen Durchmesser gegangen werden, um einem zu starken Riemenzuge und erhöhter Lagerbeanspruchung vorzubeugen. Ist man zur Anwendung einer kleineren Riemenscheibe bei großer Gegenscheibe und kurzer Wellenentfernung gezwungen, so sind Spannrollen zu empfehlen (siehe S. 534).

Aufstellungsart.

Die Motoren mit Gleitlagern können auch für Befestigung an der Wand oder an der Decke geliefert werden, da die Lagerschilde um 90° bzw. 180° verdreht werden können. Die Welle muß jedoch bei Gleichstrommaschinen mit Gleitlagern stets waagerecht liegen. Werden Motoren für Wandbefestigung bestellt, so ist anzugeben, ob die Antriebsseite rechts oder links, auf den Motor gesehen, und das Klemmbrett oben oder unten liegen soll. Die Motoren der Type GA 64...75 und VGN 5...15, soweit sie

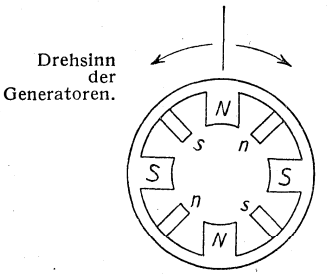


Bild 27. Polarität der Haupt- und Hilfspole.

mit Kugellagern ausgerüstet sind, können für gewöhnlich in jeder Lage befestigt werden. Diese Motoren können z. B. auch mit senkrechter Welle arbeiten. Zusätzliche Gewichte, außer einer Riemenscheibe oder einer Kupplungshälfte, vermögen jedoch die normalen Kugellager nicht aufzunehmen.

Für Wand- und Deckenbefestigung sind bei den Motoren mit einer Leistung von etwa 15 PS aufwärts Sonder-Spannschienen vorzusehen.

Untersuchung.

Wird eine Maschine zwecks Instandsetzung oder Untersuchung auseinandergenommen, so muß dafür gesorgt werden, daß die Verbindungen der Wicklungen innerhalb der Maschine genau wieder so hergestellt werden können, wie sie vor dem Auseinandernehmen waren. Sorgfältige Bezeichnung der Drahtenden ist deshalb beim Auseinandernehmen geboten. Bei der Wiederherstellung oder der Nachprüfung der Schaltung ist zu beachten:

Der Stromverlauf des Hauptstromes soll sein: Netz—Kompoundierung (falls vorgesehen) —Hilfspole—Anker—Netz.

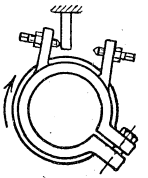
Die Polarität der Hilfspole soll so sein, daß auf einen Nord-Hauptpol im Sinne der Ankerdrehung bei Motoren ein Nord-Hilfspol, bei Generatoren ein Süd-Hilfspol folgt (Bild 27).

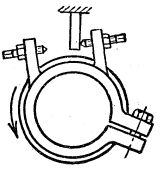
Die Richtigkeit der Schaltung wird mittels Kompaß nachgeprüft.

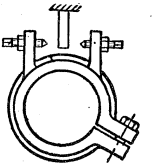
Vor dem Anlassen überzeuge man sich, daß der Anlasser auf „Aus" steht. Erst dann ist der Hauptschalter einzulegen. Das Anlassen der Motoren selbst geschieht durch langsames Drehen der Kontaktkurbel des Anlassers bis in ihre Endstellung. Über Anlaufzeit siehe Seite 509. Das Ausschalten erfolgt durch schnelles Zurückdrehen der Kurbel bis zum Anschlag und Öffnen des Hauptschalters.

Bürsteneinstellung.

Die Bürsten müssen vor Inbetriebnahme sorgfältig eingeschliffen werden. Dabei ist die Bedienungsvorschrift genauestens zu beachten, die den Maschinen mitgegeben wird. Die Einstellung der Bürsten ist durch Anschläge am Lagerkopf oder Stellschrauben am Bürstenstern gesichert. Bei Motoren der Type VGN 5 bis 15, GA 64 qis 75 und der Type AW ist die Bürsteneinstellung für Links- und Rechtslauf der Motoren die gleiche. Sie darf nicht verändert werden. Bei den Typen GA 90 bis 1200







Einstellung des Bürstenhaltersternes an Gleichstrommaschinen Type GA 90—1200.

Bild 28. Für Nebenschlußmotoren, die in einer Drehrichtung laufen. Die Pfeile geben die Drehrichtung an.

Bild 29.

Bild 30. Für Nebenschlußmotoren, die abwechselnd in beiden Drehrichtungen laufen; ferner für Reihenschluß- u. Doppelschlußmotoren sowie für Generatoren.

sind die Bürsten im Sinne der Drehrichtung soweit wie möglich, d. h. also bis die Einstellschraube am Anschlag liegt, zu verstellen (Bild 28 und 29). Die Pfeile deuten die Drehrichtung an. Bei Motoren, welche für Lauf in beiden Drehrichtungen dienen sollen, sowie bei Doppelschluß- und Reihenschlußmotoren und Generatoren wird die Bürsteneinstellung entsprechend Bild 30 gewählt und nicht geändert. Es empfiehlt sich jedoch, die jedem Motor beigefügte Behandlungsvorschrift zu beachten.

V. Einphasen-Wechselstrommotoren.

Einphasenmotoren werden von den Elektrizitätswerken im allgemeinen bis zu einer Leistung von 2 PS für Anschluß an die Lichtzuleitung von Drehstromnetzen zugelassen. Die übliche Spannung ist 220 V. Da die Einschaltströme bei 110 V verhältnismäßig hohe Werte annehmen können, empfiehlt es sich, in jedem Falle die Genehmigung des zuständigen EWs für den Anschluß des Motors an die 110-V-Lichtzuleitung einzuholen.

Einphasenmotoren werden in verschiedenen Ausführungsarten hergestellt, die sich durch die Art des Anlassens und die Größe des Anzugmomentes unterscheiden. Motoren mit nur einer einphasigen Wicklung im Ständer (Arbeitswicklung) entwickeln kein Anzugmoment. Ist ein gewisses Anzugmoment erforderlich, so bedarf der Motor außerdem einer zweiten Wicklung (Hilfswicklung), in der ein gegenüber dem Strom der Arbeitswicklung zeitlich in der Phase verschobener Strom erzeugt werden muß. Dies geschieht durch Vorschalten von Widerständen, Drosselspulen oder Kondensatoren. Dementsprechend werden folgende Arten von Einphasenmotoren hergestellt:

1. Einphasen-Anwurfmotoren.

Diese Motoren haben keine Hilfswicklung und laufen daher nicht selbständig an. Sie müssen entweder durch Zug am Riemen, am Schwungrad oder bei größeren Schwungmassen (z. B. Milchschleudern) mit einer besonderen Anwurfkurbel angedreht werden. Für das Anwerfen ist nur eine ganz geringe Kraft erforderlich, worauf die Motoren dann mit eigener Kraft weiter hochlaufen. Diese Anlaßmethode hat den Vorteil, daß die Motoren ohne weitere elektrische Umschaltung jeweilig in der Drehrichtung anlaufen, in welcher sie angedreht werden.

Infolge ihrer überaus einfachen Bauart, und da die Motoren so gut wie keine Ansprüche an Wartung oder Bedienung stellen, sind sie besonders geeignet für Verwendung in landwirtschaftlichen Betrieben, so zum Antrieb von Schrotmühlen, Futterschneidern, Milchschleudern nebst Butterfaß, Getreidetrommelsichtern, Windfegen, ferner für das Kleingewerbe zum Antrieb von Werkzeugmaschinen, für den Haushalt zum Antrieb von Waschmaschinen usw. Nur für selbsttätigen Betrieb, wie z. B. Hauswasserversorgungsanlagen, sind diese Motoren nicht geeignet, da bei solchen Antrieben selbständiger Anlauf Bedingung ist.

Der Einschaltstrom der Motoren beträgt bei unmittelbarer Einschaltung das etwa 3,5- bis 4fache des Nennstromes, ist also so niedrig, daß sie bei Leistungen bis etwa 1 PS an das Lichtnetz angeschlossen werden können. Die Absicherung hat mittels Elfa-Automaten Ausführung „M" zu erfolgen, und zwar sind diese so auszuwählen, daß zwischen Einschalten des Motors und Ansprechen des Automaten etwa 5 Sek. vergehen. Diese Zeit reicht für die Beschleunigung der weitaus meisten Antriebe aus. Die Elfa-Automaten schalten die Motoren auch ab, wenn sie zwar eingeschaltet, jedoch nicht rechtzeitig angedreht werden. Auch wenn nach Ausbleiben die Netzspannung wiederkommt, jedoch verabsäumt wurde, die Motoren abzuschalten, sprechen die Elfa-Automaten an. Über Verwendung von Motorschutzschaltern s. Seite 405.

2. Selbständig anlaufende Einphasenmotoren mit besonderem Anlaßgerät.

Diese Motoren haben außer der Arbeitswicklung eine besondere Hilfswicklung zur Erzeugung eines Anzugmoments. Bei Motoren kleiner Leistung wird die Phasenverschiebung zwischen den Strömen der Arbeits- bzw. der Hilfswicklung durch Vor-

schalten eines Widerstandes vor die Hilfsphase erreicht. Der Widerstand ist in einem zweistufigen Ständeranlasser untergebracht. Auf der Endstellung des Anlassers ist nach erfolgtem Hochlauf des Motors die Hilfswicklung mit dem vorgeschalteten Widerstand vom Netz abgeschaltet.

Für das Anlassen mittels eines derartigen zweistufigen Ständeranlassers werden die kleineren Motoren bis etwa 3 PS ausgeführt. Die Leistung als Einphasenmotor beträgt etwa 50 bis 60% der Leistung als Drehstrommotor.

Die kleineren vierpoligen Einphasenmotoren mit einer Leistung bis zu etwa 1 PS entwickeln ein Anzugmoment von etwa 100% des Nennmomentes, das für die meisten Antriebe ausreicht. Das Anzugmoment der übrigen Motoren ist geringer, so daß dieselben nur mit sehr kleiner Last anlaufen können. Es sind also besondere Vorrichtungen erforderlich, wie z. B. Fliehkraftriemenscheiben oder doppeltbreite Riemenscheiben auf den Motoren und Los- und Festscheibe auf der angetriebenen Maschine, um einwandfreien Anlauf bei größerer Last zu ermöglichen.

Der Einschaltstrom dieser Einphasenmotoren beträgt etwa das 5- bis 6fache des Nennstromes; bei niedriger Netzspannung (110 V) ergeben sich dadurch entsprechend hohe Absolutwerte für den Einschaltstrom. Es ist daher zu empfehlen, bei Leistungen über etwa ½ PS von Fall zu Fall bei den zuständigen Elektrizitätswerken anzufragen, ob dem Anschluß der Motoren mit Rücksicht auf den hohen Einschaltstrom nichts im Wege steht. Gegebenenfalls sind dann Kondensatormotoren vorzuziehen, deren Einschaltströme niedriger sind.

3. Selbständig anlaufende Einphasenmotoren mit Fliehkraftschalter.

Bei diesen Motoren ist der Anlaßwiderstand für die Hilfswicklung nicht in einem besonderen Anlaßgerät, sondern zusammen mit einem Fliehkraftschalter in einem Sonderschildlager gegenüber der Antriebsseite untergebracht. Sie entwickeln ein Anzugmoment von etwa 100% ihres Nennmomentes, vermögen also gegen Vollast anzulaufen. Nach erfolgtem Hochlauf werden Hilfswicklung und Widerstand durch den Fliehkraftschalter selbsttätig abgeschaltet.

Die Motoren können ohne Sonderschaltgerät unmittelbar eingeschaltet werden und eignen sich daher besonders auch für selbsttätigen Anlauf. Der Einschaltstrom ist dabei so niedrig, daß die Motoren bis etwa 1 PS an das Lichtnetz angeschlossen werden können.

Für leichtere Antriebsverhältnisse, wie Antrieb von Kreiselpumpen, Werkzeugmaschinen u. dgl. sind Elfa-Automaten Ausführung „M" zu wählen. Liegen schwerere Antriebsverhältnisse vor — sind z. B. größere Schwungmassen zu beschleunigen —, so daß der Anlauf sich über mehrere Sekunden erstreckt, so sind Elfa-Automaten mit besonders verzögerter Auslösung zu verwenden.

4. Einphasen-Kondensatormotoren.

Auch diese Motoren haben außer der Arbeitswicklung eine besondere Hilfswicklung zur Erzeugung des Anzugmomentes. Die Phasenverschiebung zwischen den Strömen der Arbeits- bzw. Hilfswicklung wird jedoch hier nicht durch einen Anlaßwiderstand, sondern durch einen der Hilfswicklung vorgeschalteten Kondensator bewirkt. Je nach der Höhe des geforderten Anzugmomentes werden die im folgenden beschriebenen drei Ausführungsarten von Kondensatormotoren hergestellt.

Bei dem Einphasen-Induktionsmotor mit Betriebskondensator liegt ein Kondensator dauernd im Hilfsphasenstromkreis, d. h. Kondensator und Hilfsphase sind sowohl während des Anlaufes als auch während des Betriebes mitangeschlossen. Diese Motoren haben keinen Fliehkraftschalter zum Abschalten von Hilfsphase und Kondensator. Ihr Anzugmoment beträgt nur etwa 25 bis 30% des Nennmomentes. Die Motoren können daher nur für leichtere Anlaufverhältnisse Verwendung finden, wie zum Antrieb von Lüftern, leer anlaufenden Werkzeugmaschinen u. dgl. In Anbetracht ihrer einfachen Bauart wird man jedoch häufig auch bei mittelschweren

Antrieben auf sie zurückgreifen und dann lieber ein entsprechend größeres Modell wählen, so z. B. bei Antrieb von Kreiselpumpen u. dgl.

Daß der Kondensator dieser Motoren auch im Betriebe mit angeschlossen ist, hat im übrigen noch den Vorteil, daß die Motoren bei normaler Belastung mit sehr gutem Leistungsfaktor von etwa 0,95 arbeiten. Der Einschaltstrom beträgt das etwa 3- bis 4fache des Nennstromes.

Die größeren Einphasenmotoren mit Betriebskondensator und Leistungen von 1,25, 1,4 und 2 PS finden besonders in der Landwirtschaft Verwendung und werden deshalb auch als „Landwirtschaftsmotoren" bezeichnet. Um einen sicheren Anlauf zu gewährleisten, pflegt man die Motoren durch Aufbau auf einer Motorwippe oder Vorsehen einer Spannrolle, die beim Hochfahren des Antriebes leicht angehoben werden, etwas zu entlasten.

Motor und Kondensator können auch auf eine Motortrage aufgebaut werden.

Einphasen-Induktionsmotor mit Doppelkondensator, von dem ein Teil nach erfolgtem Hochlauf durch einen in den Motor eingebauten Fliehkraftschalter abgeschaltet wird. Der restliche Teil des Kondensators bleibt zusammen mit der Hilfsphase auch während des Laufes im Betriebe, so daß auch diese Motoren mit sehr gutem Leistungsfaktor arbeiten. Das Anzugmoment beträgt etwa 130 bis 150% des Nennmomentes, reicht also auch für schwereren Anlauf wie bei Kolbenpumpen u.dgl. aus. Der Einschaltstrom beträgt etwa das 3,5- bis 4,5fache des Nennstromes.

Einphasen-Induktionsmotor mit Anlaufkondensator. Hier sind der Kondensator und die Hilfsphase nur im Anlauf angeschlossen und werden nach erfolgtem Hochlauf durch einen in den Motor eingebauten Fliehkraftschalter abgeschaltet. Das Anzugmoment ist sehr hoch, etwa 200 bis 250% des Nennmomentes, reicht also für schwerste Anlaufverhältnisse aus, z. B. für gegen den Verdichtungsdruck anlaufende Verdichter. Der Einschaltstrom beträgt das etwa 3- bis 4,5fache des Nennstromes.

Die für diese Einphasenmotoren verwendeten Kondensatoren sind in Metallgehäuse eingebaut. Das Klemmbrett ist durch einen Isolierstoffdeckel berührungssicher abgedeckt. Für Aufstellung in feuchten Räumen kann eine besondere Feuchtraumausführung mit Rostschutzgehäuse ausgeführt werden. Hierbei besitzen die Kondensatoren kein Klemmbrett, sondern werden gleich mit angebautem Zuführungskabel (Feuchtraumleitung) von 300 mm Länge ausgerüstet, das mittels Kabeleinführungsstutzen in das Kondensatorgehäuse eingeführt ist.

Die Kondensatorgehäuse besitzen unten zwei mit Bohrung versehene Winkelbleche, die zum Festschrauben an waagerechter oder senkrechter Fläche dienen; sie können ohne Schwierigkeit so in unmittelbarer Nähe der Motoren angebracht werden.

VI. Kleinstmotoren.

Kleinstmotoren sind in erster Linie bestimmt zum Anbau oder zum Einbau an oder in die Arbeitsmaschine selbst, mit der sie in vielen Fällen eine bauliche Einheit bilden. Wesentlich ist daher, daß trotz der verschiedensten, dem jeweiligen Verwendungszweck entsprechenden Anforderungen eine Motorenreihe zur Verfügung steht, mit knappen Abmessungen, die auch bei verschiedenen Stromarten und Spannungen, sowie bei besonderer elektrischer Auslegung die gleichen bleiben. Diese Forderung ist deshalb wesentlich, damit die Maße der angetriebenen Arbeitsmaschine für die verschiedenen Stromarten beibehalten werden können.

Nach den R.E.M. des VDE sind unter Kleinstmotoren solche mit einer Nennleistung bis 500 W zu verstehen, doch lassen die nach den vorstehenden Gesichtspunkten ausgelegten Modelle (unter Erhöhung der Drehzahl) noch höhere Leistungen zu (z.B. bei Gleichstrom bis 1 PS, bei Drehstrom bis 1,5 PS). Auch diese Motoren von etwas höherer Leistung werden dann nach ihrer Bauart auch noch als Kleinstmotoren bezeichnet.

Bei der Auswahl des Kleinstmotors sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

1. Möglichste Anpassung der Drehzahl der anzutreibenden Welle an die Normaldrehzahlen (1400 und 2800 U/min bei Dreh- und Einphasenstrom 50 Hz.), 1400, 2000 und 2800 U/min bei Gs.). Universalmotoren (für Ws und Gs) werden auch für höhere Drehzahlen (bis 6000 U/min) ausgeführt.
2. Feststellung der Betriebsart, ob Dauerbetrieb, kurzzeitiger oder aussetzender Betrieb (hierbei Spieldauer, Einschaltdauer, Schalthäufigkeit beachten).
3. Ermittlung des Kraftbedarfes der Arbeitsmaschine, sowie des erforderlichen Anzugsmomentes und der Hochlaufkurve.

Um den Kraftbedarf festzustellen, wird es sich meist empfehlen, einen Probemotor auf Grund einer Schätzung der erforderlichen Leistung zu beschaffen oder die Arbeitsmaschine an die Motorenfabrik einzusenden.

Die Kleinstmotoren werden normal mit Gleitlagern, und zwar mit Dochtpolster- oder Ringdochtschmierung ausgeführt. Auf Wunsch werden sie auch mit Kugellagern versehen, die zwar geringere Wartung verlangen, aber nicht den geräuschlosen Gang der Gleitlager besitzen, der häufig wünschenswert ist. Kugellager sind erforderlich bei hohen Drehzahlen (über 5000 U/min) und bei nicht waagerechter Lage der Welle (Hängemotoren u. dgl.), sowie in allen Fällen, in denen die Welle axial beansprucht wird. Bei stärkeren Achsdrücken (Schneckenvorgelege) sind besondere Druckkugellager vorzusehen.

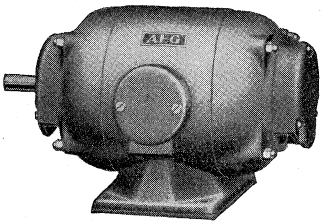


Bild 31.
Drehstromkleinstmotor m. Kugellagern.

Gleichstrommotoren.

Nebenschlußmotoren für annähernd gleiche Drehzahl bei verschiedenen Belastungen. Herabregelung um etwa 50% bei normalem Moment möglich. Anlasser erforderlich.

Hauptstrommotoren mit besonders kräftigem Anzugsmoment nur für Hochlauf mit Belastung. Drehzahl steigt bei Entlastung, daher Gefahr des Durchgehens. Drehzahlregelung durch Vorschaltwiderstand.

Kompoundwicklung kann ausgeführt werden. Sie ermöglicht direktes Einschalten (ohne Anlasser) bei annähernd gleicher Drehzahl.

Drehstrommotoren.

Kleinstmotoren für Drehstrom werden nur mit Käfigläufer ausgeführt, sind also nicht regelbar. Normaldrehzahlen bei 50 Hz.: 3000 und 1500 U/min, Kräftiges Anzugsmoment. Drehstrommotoren sind leistungsfähiger, billiger und betriebssicherer als Einphasenmotoren (Bild 31).

Einphasen-Wechselstrommotoren.

Grundsätzlich nur zu verwenden, wenn Drehstrom nicht zur Verfügung steht oder wenn eine Regelung der Drehzahl erforderlich ist.

Einphasen-Induktionsmotoren mit Widerstandshilfsphase und Fliehkraftschalter haben Kurzschlußläufer und sind nicht regelbar. Zur Erzeugung des Anlaufmomentes sind sie mit einer Hilfswicklung versehen, die nach erfolgtem Anlauf durch einen auf der Läuferwelle sitzenden Flieh-

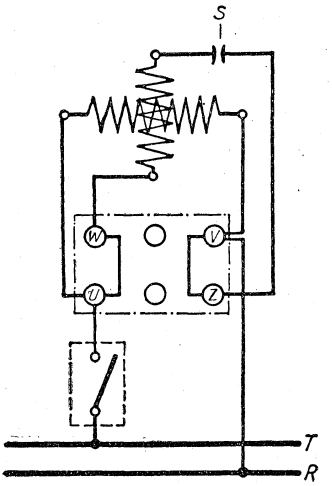


Bild 32.
Schaltung eines Einphasen-Induktionsmotors mit Widerstandshilfsphase.

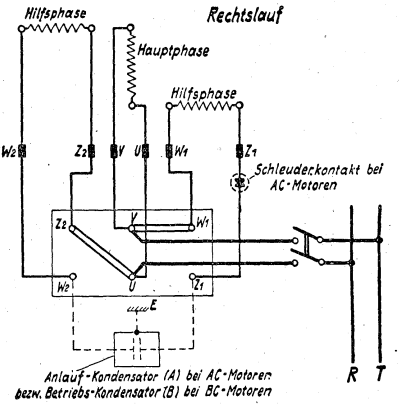


Bild 33

Schaltung eines Einphasen-Induktionsmotors mit Anlauf- oder Betriebskondensator.

kraftschalter selbsttätig abgeschaltet wird. Die Drehzahl bleibt auch bei wechselnder Belastung nahezu konstant.

Vierpolige Einphasen-Induktionskleinstmotoren können beim Anlauf das normale Vollastdrehmoment, zweipolige Einphasen-Induktionsmotoren nur etwa die Hälfte des normalen Momentes abgeben.

Einphasen-Induktionsmotoren werden normal nur zwei- und vierpolig, auf Wunsch auch sechspolig ausgeführt. Sie werden direkt mittels Schalter an das Netz gelegt (Bild 32).

Einphasen-Repulsionsmotoren haben gewickelten Anker mit Kommutator, sind regelbar und haben ein kräftiges Anzugsmoment. Die der Polzahl entsprechenden Drehzahlen 1500 und 3000 U/min bei 50 Hz. können bei gleichbleibendem Drehmoment durch Regelwiderstände oder durch Verstellung der Bürstenbrücke vermindert werden. Das Abwärtsregeln um mehr als 35% ist im Dauerbetrieb nicht ratsam, weil die Kommutierung dabei schlecht wird. Die Änderung der Drehrichtung geschieht durch Verschiebung der Bürstenbrücke.

Auf Wunsch werden Repulsionsmotoren auch mit Bürstenverstellvorrichtung ausgeführt.

Repulsionsmotoren haben Hauptstromcharakteristik und deshalb Neigung, bei Entlastung „durchzugehen". Zweipolige Repulsionsmotoren von 3000 U/min können zur Vermeidung des Durchgehens mit Dämpferwicklung versehen werden; sie sind dann aber nicht mehr regelfähig.

Alle Repulsionsmotoren können mittels Schalter unmittelbar ans Netz gelegt werden. Durch Regelanlasser werden die Motoren in der ersten Schaltstellung zur Erzielung eines starken Anlaufmomentes voll eingeschaltet. Die weiteren Schaltstellungen dienen zur Verminderung der Drehzahl. Es können aber auf Wunsch, wenn nur geringes Anlaufmoment verlangt wird, auch Anlasser geliefert werden, deren Schaltstufen in üblicher Weise für langsames Steigern der Umlaufzahl bis zum Kurzschluß des Anlaßwiderstandes angeordnet sind.

Repulsionsmotoren können durch Parallelschaltung der Wicklung am Klemmbrett im Spannungsverhältnis 2:1, also z. B. von 220 auf 110 V, umgeschaltet werden.

Kondensatormotoren (vgl. Seite 496). Bei den Einphasen-Kondensatorkleinstmotoren kommen je nach dem Verwendungszweck drei Ausführungsarten in Betracht:

mit Betriebskondensator (BC), wenn ein Anzugsmoment bis etwa 30% des Nennmomentes ausreichend ist;

mit Doppelkondensator (CC) für höhere Anzugsmomente bis etwa 150% des Nennmomentes, wobei ein Teil des Kondensators nach Hochlauf mittels Fliehkraftschalters abgeschaltet wird (der Kühlschrank-Sondermotor erreicht sogar ein Anlaufmoment von 250 bis 300% des Nennmomentes);

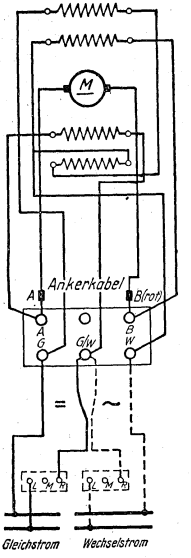


Bild 34.
Schaltung eines Universalmotors.

mit Anlaufkondensator (AC) für Anzugsmomente von 200 bis 250% des Nennmomentes. Schaltung Bild 33.

Die Motoren mit Betriebskondensator, deren Kondensator während des Betriebes eingeschaltet bleibt, arbeiten bei normaler Belastung mit besonders gutem Leistungsfaktor von etwa 0,95.

Bei Wahl geeigneter Kondensatoren können bei allen Kondensatormotoren auch höhere Anlaufmomente, als oben angegeben, erreicht werden. Z. B. werden für Kühlschränke Sondermotoren gebaut, die den besonderen Ansprüchen bei derartigen Verdichterantrieben genügen.

Universalmotoren.

Universalmotoren können wahlweise an Gleich- oder Wechselstrom (bei Drehstrom an zwei Leitungen bzw. eine Phase und den Nulleiter) angeschlossen werden. Universal sind sie also bezüglich Stromart, jedoch nicht bezüglich Spannung. Sie müssen für die jeweilige Netzspannung gewickelt werden.

Die Universalmotoren haben angezapfte Feldwicklungen und getrennte Klemmenanschlüsse für Gleich- und Wechselstrom. Die Klemmen sind entsprechend (= Gleichstrom, ~ Wechselstrom) gekennzeichnet.

Universalmotoren haben Hauptstromcharakteristik und neigen bei Entlastung zum Durchgehen. Namentlich bei denjenigen Universalmotoren, die normal bereits mit hoher Drehzahl (3000 bis 4500 U/min) laufen, ist eine völlige Entlastung zu vermeiden. Die Drehzahlen bei Anschluß an Gleich- oder Wechselstrom sind nur bei der Normallast annähernd gleich. Die Drehzahltoleranz beträgt ± 15% (bezogen auf das Nenndrehmoment).

Universalmotoren können unmittelbar ans Netz angelegt werden (Bild 34). Zur Regelung der Drehzahl dienen Regelwiderstände, zweckmäßig Schiebewiderstände.

Sämtliche Kommutatormotoren können auf Wunsch mit Störschutz ausgerüstet werden, so daß sie den Rundfunkempfang nicht beeinträchtigen. Bei geerdeten Motoren (Pumpen) empfiehlt es sich, wegen des Störschutzes besonders anzufragen.

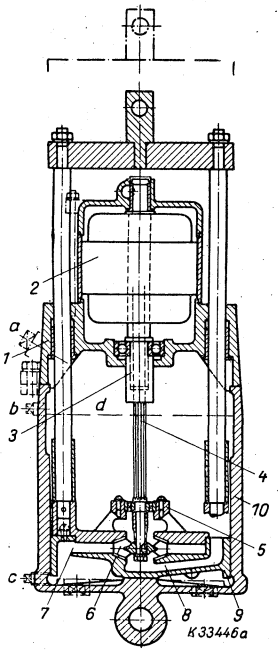
Alle Kleinmotoren werden normal für Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen, geliefert. Die Drehrichtung kann aber bei Gleichstrom-, einigen Universal- und bei Einphasen-Induktionsmotoren durch Umschaltung am Klemmbrett leicht geändert werden. Bei Drehstrommotoren genügt zum Umkehren der Drehrichtung das Vertauschen zweier Zuleitungen. Bei Repulsionsmotoren ändert man den Drehsinn durch Verdrehen der Bürstenbrücke. Die Bürstenbrücke der Repulsionsmotoren wird bei Lieferung auf eine rote Marke für die höchste Leistung (Nennleistung der Liste) und Drehzahl eingestellt. Verschiebt man die Bürstenbrücke aus dieser Lage nach Lösen einer Zylinderkopfschraube, so nimmt die Drehzahl ab bis auf 0. Verschiebt man die Bürsten in gleicher Richtung noch weiter, so kehrt sich die Drehrichtung des Motors um, bis bei der zweiten roten Marke wieder die höchste Leistung und Drehzahl erreicht wird.

Bei Bestellung von Universalmotoren der kleinsten Typen ist zweckmäßig, die gewünschte Drehrichtung anzugeben, weil zur Umkehrung ein Vertauschen der Bürstenkabel erforderlich ist. Für Drehrichtungswechsel durch Kreuzschalter können die Motoren mit den listenmäßigen Drehzahlen nicht universal für beide Stromarten ausgeführt werden. Die Motoren werden in diesem Fall nur für eine Stromart ausgelegt und mit vier Anschlüssen versehen.

Kleinstmotoren für betriebsmäßige Umkehr der Drehrichtung sind meist Motoren mit besonderer Wicklung. Entscheidend für die Ausführung ist, wie oft die Drehzahl innerhalb einer Stunde umgekehrt werden soll.

Kleinstmotoren erhalten normal Isolation J 1 bzw. auf Wunsch auch J 1 L mit besonderem Lackanstrich. Sonderisolation 2 bedingt Herabsetzung der Leistung.

Die Kleinstmotoren werden bis auf die kleinsten Universalmotoren normal spritzwassergeschützt (P 22) hergestellt, außerdem aber auch in geschlossener Aus-



1 = Zylinderdeckel
2 = Antriebsmotor
3 = Motorwelle
4 = Antriebswelle
5 = Kugellager
6 = Flügelrad
7 = Verbindungs-
8 = Kanal [öffnung
9 = Kolben
10 = Gehäuse
a = Öl-Einguß
b = Öl-Überlauf
c = Öl-Ablauf
d = Öl-Spiegel

Bild 35. Längsschnitt durch das Eldro-Gerät.

führung (P 33) mit Klemmenkasten in P 44, ferner schlagwetter- oder explosionsgeschützt.

Normal haben die Motoren einen angeschweißten Fuß, sie werden aber auch als Flansch-, Senkrecht- und Einbaumotoren für die mannigfaltigsten Einbauzwecke hergestellt (DIN/VDE 2950.)

Eldro-Gerät

Eine besondere Anwendung findet der Kleinstmotor bei dem elektrohydraulischen Gerät „Eldro" (DRP.), das zur Betätigung von Stellvorrichtungen, Bremsen (im Kranbau auch bei Regelbremsen), Öffnen von Schiebern, Steuerungen an Arbeitsmaschinen, Türbewegungen, Weichen usw. vielseitig benutzt wird.

Das Gerät (Bild 35) besteht aus einem mit Öl gefüllten, stehenden Gußeisenzylinder, in dem ein Kolben leicht verschiebbar geführt wird. Auf dem Deckel des Zylinders ist ein kleiner Antriebsmotor von etwa ¼ bis ½ PS Leistung angeordnet, der unmittelbar durch eine senkrechte Welle das Flügelrad einer Ölpumpe antreibt. Dieses Flügelrad ist im Kolben gelagert und steht mit dem Zylinderraum oberhalb und unterhalb des Kolbens durch Kanäle in Verbindung. Beim Einschalten des Motors fördert das Flügelrad sehr schnell das Öl aus dem oberhalb des Kolbens liegenden Zylinderraum nach dem unter dem Kolben liegenden Raum. Das mit hoher Drehzahl laufende Flügelrad erzeugt einen auf die untere Kolbenfläche wirkenden Ölüberdruck, der den Kolben nach oben in Bewegung setzt. Der Druck ist abhängig von der Drehzahl des Flügelrades und der Fläche des Kolbens. Beim Ausschalten des Motors hört der Druck auf, und der Kolben sinkt schnell, aber infolge der Öldämpfung sanft und stoßfrei, in seine Ausgangsstellung zurück, während das Öl durch die Kanäle im Kolben in den oberen Zylinderraum zurückströmt. Zwei an den Kolben befestigte Stahlbolzen, die im Zylinderdeckel parallel geführt und außen durch ein Joch verbunden sind, übertragen die Hubarbeit des Kolbens auf das zu betätigende Gestänge.

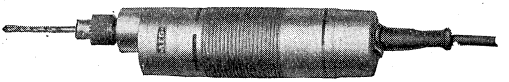


Bild 36. Universal-Handbohrmaschine von 50 W Leistungsabgabe, Bohrdurchmesser 4 mm, in Stahl.



Bild 37. Universal-Handbohrmaschine für Bohrdurchmesser bis 12 mm, in Stahl.

Das Eldro-Gerät wird für Dreh- und Gleichstrom, und zwar in fünf Größen ausgeführt, für 175, 338, 375, 1125 und 2960 kg/cm größte Hubarbeit und einen größten Hub (je nach Größe des Gerätes) von 50 bis 160 mm.

Das Gerät ist senkrechtstehend angeordnet. Es ist in der Regel

für 600 Schaltungen je Stunde, für Dauereinschaltung (100% ED) und beliebigen Aussetzbetrieb verwendbar. Für sehr große Schalthäufigkeiten ist eine Herabsetzung von Hub und Belastung erforderlich.

VII. Elektrowerkzeuge.

Unter Elektrowerkzeugen versteht man ortsveränderliche Werkzeuge, bei denen der elektromotorische oder elektromagnetische Antrieb einen wesentlichen Bestandteil bildet und die von Hand an das Werkstück, die Werkzeugmaschine oder den Arbeitsplatz gebracht werden (z. B. Handbohrmaschinen, Ausreibe-, Schraubenzieh- und Gewindeschneidemaschinen, Hand-, Support- und andere ortsveränderliche Schleifmaschinen, Handsägen, Handfräser). Hierzu gehören auch Elektrowerkzeuge mit biegsamer Welle und Gelenkwelle (VDE 0740/1933).

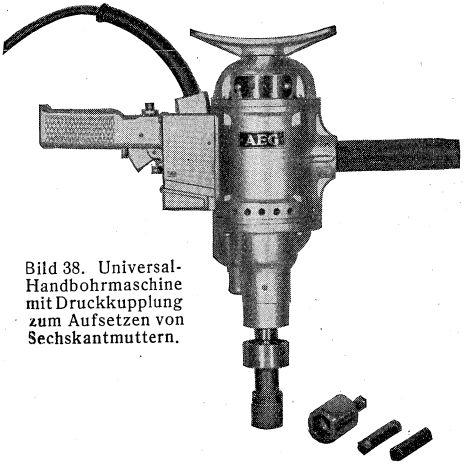


Bild 38. Universal-Handbohrmaschine mit Druckkupplung zum Aufsetzen von Sechskantmuttern.

Da der elektromotorische Antrieb die für die Bearbeitung des Werkstückes notwendige Arbeitsleistung übernimmt, kann der Bedienende seine ganze Aufmerksamkeit der genauen und sauberen Ausführung der Arbeit selbst widmen, ganz abgesehen von der Zeitersparnis, die sich mit diesen Werkzeugen erreichen läßt. (Vergleich zwischen der Arbeit mit der Elektrohandbohrmaschine und mit der Brustleier oder der Bohrknarre.) Die Genauigkeit der Arbeit wird auch dadurch gesteigert, daß die bei Handbetrieb rasch auftretenden Ermüdungserscheinungen nahezu wegfallen. Diese Werkzeuge haben nicht nur Bedeutung als Hilfsgeräte für die Industrie, sondern sind auch bei den niedrigen Anschaffungskosten besonders für das Handwerk, das Installationsgewerbe usw. geeignet.

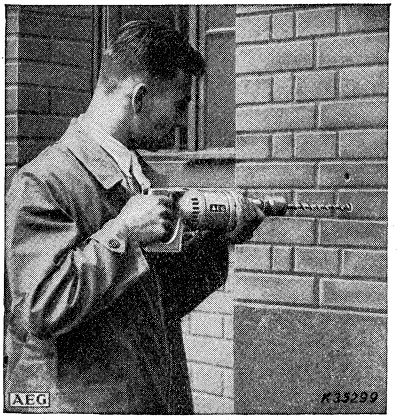


Bild 39. Universal-Handbohrmaschine mit Widiabohrer zum Bohren von Dübellöchern.

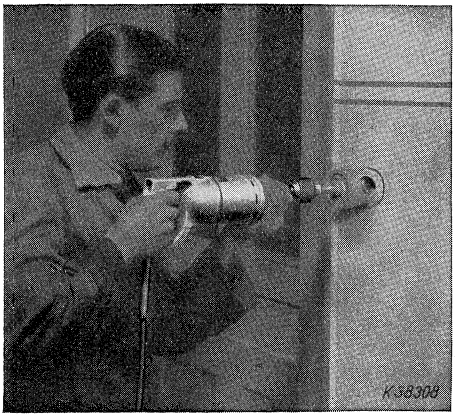


Bild 40. Universal-Handbohrmaschine mit Widiakronenbohrer beim Ausbohren von Löchern im Mauerwerk zur Verlegung von Schaltern und Abzweigdosen.

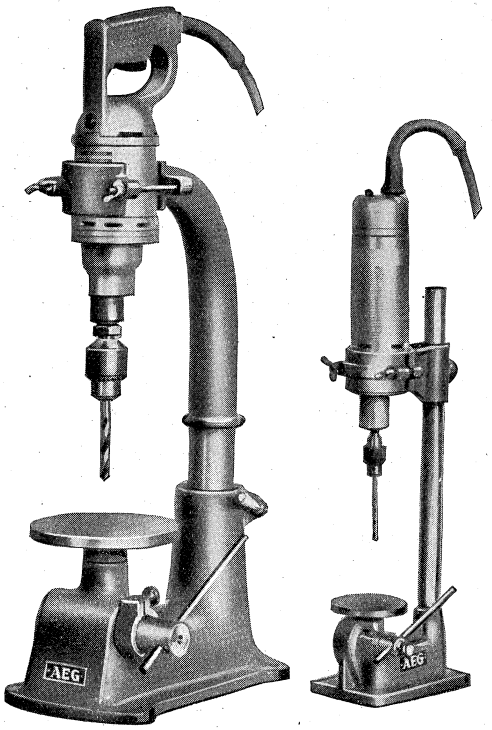


Bild 41. Handbohrmaschinen im Bohrgestell.

Die in Bild 36, 37 und 38 dargestellten Formen der Handbohrmaschine sind noch dadurch vielseitig z. B. auch auf der Baustelle verwendbar, daß sie durch Universalmotoren (vgl. Seite 500) betrieben werden, also, gleiche Spannung vorausgesetzt, an das Gleich- und Wechselstromnetz angeschlossen werden können. Für den Elektroinstallateur ist es wichtig, daß diese Maschinen unter Verwendung von Bohrern mit Widia-Schneiden auch für das Bohren von Löchern in Mauerwerk geeignet sind (Bild 39 und 40).

Für die Handbohrmaschinen stehen Stative zur Verfügung, so daß sie auch als Tischbohrmaschinen verwendet werden können (Bild 41 und 44).

Besondere Formen zeigen die Winkelbohrmaschinen, Handschleifmaschinen und Handkurvenscheren (Bild 42 und 45).

Bild 43 zeigt den Aufbau einer Universal-Handbohrmaschine sowie die Schaltung.

Das Einschalten erfolgt durch Niederdrücken des im Schalterhandgriff untergebrachten Schalthebels, dessen Freigabe den „Ausschaltvorgang" bewirkt. Durch Betätigung des Feststellknopfes, der mit dem Daumen der rechten Hand bequem bedient wird, erfolgt eine Verriegelung des Schalthebels in der Einschaltstellung. Diese Schalthebelverriegelung ist für die Verwendung der Maschinen in den zugehörigen Bohrstativen erforderlich. Durch leichte Berührung des Schalthebels wird die Verriegelung ausgelöst, worauf der Schalthebel in seine Ausschaltstellung zurückspringt und die Maschine zum Stillstand kommt. Durch Umlegen des Umschalthebels können die 15 und 23 mm Universal-Handbohrmaschinen von Rechts- auf Linkslauf geschaltet werden. Die „Umschaltung" muß während des Stillstandes der Maschine erfolgen.

Die Elektro-Werkzeuge mit Universal-Einphasenmotor können an Gleichstrom und Einphasen-Wechselstrom sowie an Drehstrom zwi-

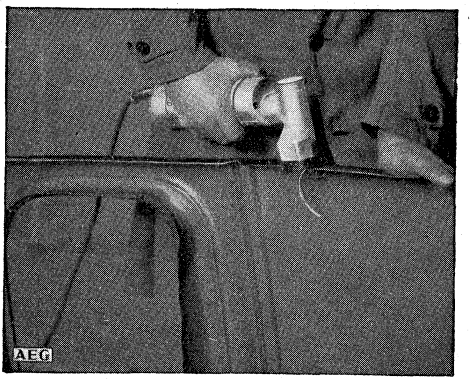


Bild 42. Universal-Handkurvenschere beim Abschneiden eines Überstandes.

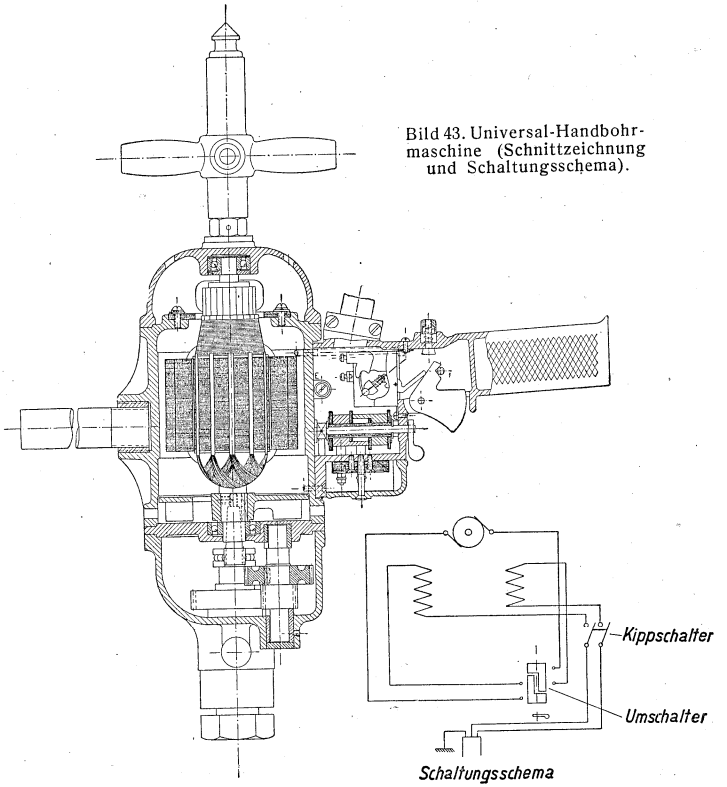


Bild 43. Universal-Handbohrmaschine (Schnittzeichnung und Schaltungsschema).

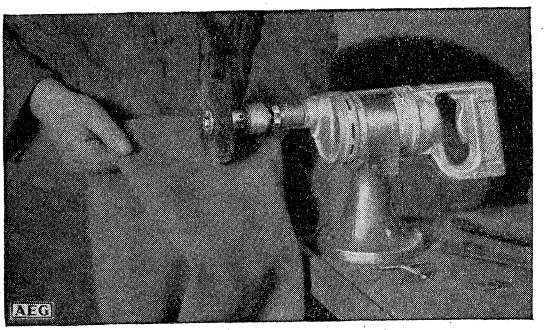


Bild 44. Handbohrmaschine auf einem Stativ beim Aufrauhen von Luftschläuchen mit der Stahldrahtbürste.

schen zwei Phasen oder zwischen einem Phasen- und dem Nulleiter (Lichtleitung) angeschlossen werden. Zum Anschluß besitzen die Maschinen ein 3 m langes Zuführungskabel, das einen besonderen mit dem Maschinengehäuse und dem Schutzkontakt des beigegebenen Steckers verbundenen Erdleiter besitzt. Diese Erdung ist durch Verwendung geerdeter Steckdosen wirksam zu machen. Es sind hierfür Schuko-Steckdosen zu verwenden. Vor dem Inbetriebsetzen ist zu prüfen, ob Stromart und Spannung des Netzes mit den Angaben des Leistungs-

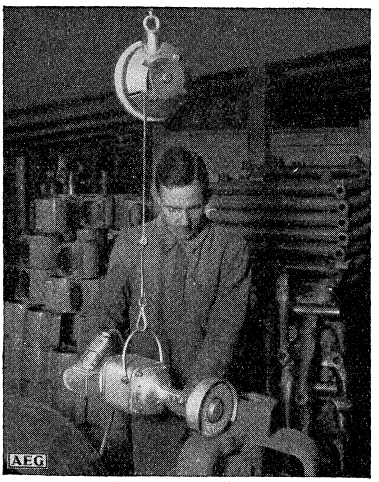


Bild 45. Handschleifmaschine mit Federzug beim Gußputzen.

werden, wenn die Maschinen in besondere Tischständer gespannt werden sollen.

Einen tragbaren Motor mit biegsamer Welle zeigt Bild 46. Auf das Handstück der biegsamen Welle können verschiedene Werkzeuge aufgesetzt werden, z. B. Schleifdorne mit Schleifscheiben oder Stahldrahtbürsten u. dergl. Nach Abschrauben des Handstückes können auch Kurvenscherenköpfe aufgesetzt werden.

Zu den Elektrowerkzeugen sind ferner zu rechnen: Supportschleifmaschinen, Schleifmaschinen auf einem Sockel, Tischbohrmaschinen, Poliermaschinen und dgl. Diese Maschinen werden im allgemeinen nicht mit Universalmotoren, sondern gesondert für Dreh-, Wechsel- und Gleichstrom ausgeführt.

Eine besondere Ausführung zeigt die AEG-Elektro-Kleinsäge, bei welcher nicht ein Motor als Antriebsorgan dient, sondern ein Wechselstrommagnet, der eine Stahlmembrane (Schwinganker) in schwingende Bewegung setzt. Bei 75 Watt Aufnahme kann diese schildes übereinstimmen. Die Maschine soll in ausgeschaltetem Zustande angeschlossen werden. Die Maschinen sind wie folgt zu sichern: UEB 15 220 V mit 6 A, UEB 15 110/125 V, UEB 23 220 V, mit 10 A und UEB 23 110/125 V mit 15 A.

Berührungsschutzsichere Universal-Elektrowerkzeuge mit Preßstoffgehäuse können an jede Lichtsteckdose angeschlossen werden und bieten dem Bedienenden erhöhten Schutz. Auch der aus Aluminium bestehende Getriebekopf ist berührungsschutzsicher, so daß Bohrer und Werkstück nicht leitend werden können, da der von Isolierstoff umhüllte motorische Teil elektrisch vom mechanischen Teil durch eine isolierende Kupplung getrennt ist. Bei reichlich bemessenen Leistungen sind die Maschinen gering im Gewicht und handlich in der Form. Die Schaltorgane sind so ausgebildet, daß beim Loslassen des Handgriffes der in diesem untergebrachte Momentschalter die Maschine selbsttätig abschaltet. Der Schalthebel kann auch hier in der Einschaltstellung verriegelt

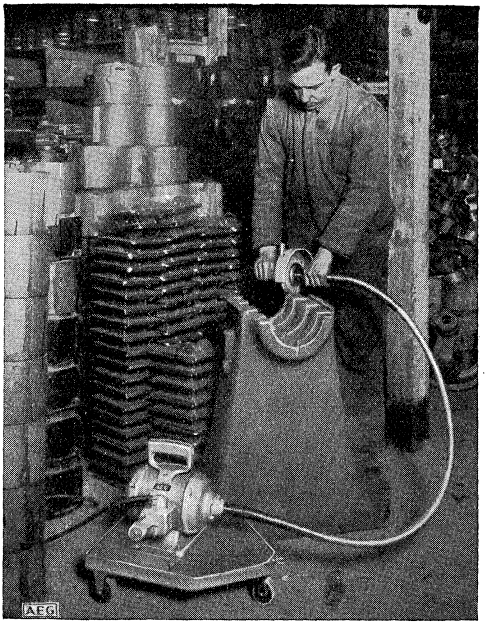


Bild 46. Putzen von Gußteilen mittels des tragbaren Motors mit biegsamer Welle.

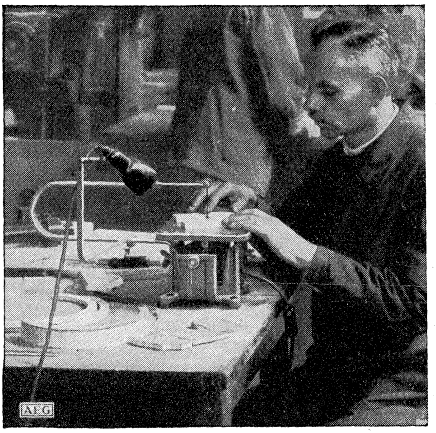


Bild 47.
Elektrokleinsäge im Modellbau.

Säge Weichholz bis 35 mm schneiden (Bild 47). Die Betriebszeit beträgt 45 min. Bei härterem Werkstoff ist die Schnittstärke geringer.

VIII. Anlaß- und Steuergeräte.

Schutzarten für Schalt- und Steuergeräte siehe S. 398.

Anlaßgeräte für Dauerbetriebsmotoren und kleine Schalthäufigkeit.

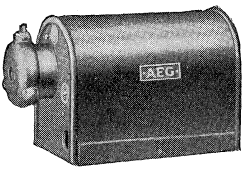


Bild 48. Stern-Dreieckschalter mit Schaltwalze und Blech-Schutzkasten.

Die Bezeichnungen für die Sonderschutzarten siehe Seite 398.

Für Drehstrommotoren mit Käfigläufer kommen drei Arten des Anlassens in Betracht:

1. Einschalten des Motors durch einen dreipoligen Schalter ohne Anlaßstufe. Nur anwendbar, wenn der hohe Anlaufstrom zulässig ist (über Anlaufstrom und Anschlußbedingungen vgl. Seite 483). Sollen einfache Leistungsschalter gemäß R.E.S. § 71 als Motorschalter verwendet werden, so ist darauf zu achten, daß sie nicht nur geeignet sein müssen, den vollen Einschaltstrom einzuschalten, sondern ihn gelegentlich auch **abzuschalten.** Es wird immer einmal vorkommen, daß der Motor entweder aus mechanischen Gründen oder durch Unterbrechung einer Phasenleitung nicht anläuft und dann der stehende Motor durch den Schalter abgeschaltet werden muß. Der Schalter muß also so ausgewählt werden, daß der **Einschaltstrom** des Motors den des Schalters nicht übersteigt.

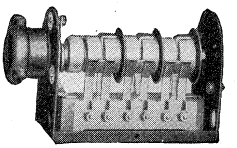


Bild 49.
Stern-Dreieckschalter nach Bild 48 (Schutzkasten abgenommen).

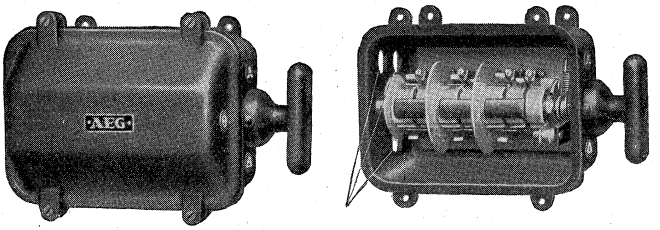
Außer einfachen Schalthebeln können auch Paketschalter, Schaltkästen und Ölschaltkästen verwendet werden. Auch werden Anlaßschalter als Walzen- und Rollenschalter, sowie solche mit Druckknopfbetätigung ausgeführt.

Selbstschalter mit Unterspannungsauslösung verhüten zwar den unbeabsichtigten Wiederanlauf des Motors, bieten aber keinen Schutz gegen Dauerüberlastung, wofür Motor-

schutzschalter erforderlich sind. Sie sind geeignet, den Motor gegen schädliche Erwärmung zu schützen und Bedienungsfehler unwirksam zu machen. Sie können zugleich als Anlaßschalter dienen (vgl. Seite 405).

2. Anlassen durch Stern-Dreieckschalter. Über Wahl der Schaltung vgl. Seite 489. Die Wicklungen der drei Phasen werden hierbei in Anlaßstellung im Stern, in Betriebsstellung im Dreieck geschaltet.

Die Sterndreieckschalter (Bild 48 u. 49) sind mit Sprungschaltung versehen, die einen Drehzahlabfall beim Überschalten von Stern und Dreieck verhindert. Bei den fernbetätigten Sterndreieckschaltern wird der Motor durch Betätigen eines Druckknopfes in Stern an das Netz gelegt, die Schnellumschaltung von Stern auf Dreieck erfolgt selbsttätig nach Ablauf einer zwischen 7 und 12 Sekunden einstellbaren Anlaufzeit (vgl. S. 410).



geschlossen Anschlußöffnungen geöffnet

Bild 50. Stern-Dreieckschalter, stahlgepanzert.

Die Sterndreieckschalter werden ebenso wie die Anlaßschalter auch in gekapselter Ausführung (Bild 50) und auch mit Ölfüllung für staubige und explosionsgefährdete Räume geliefert (Bild 51).

Käfigläufermotoren werden auch mit angebautem Sterndreieckschalter geliefert.

3. Anlaßumspanner, welche die zugeführte Spannung herabtransformieren und dem Motor nur stufenweise, bis zur Betriebsspannung ansteigende Spannung zuführen.

Für Drehstrommotoren mit Schleifringläufer und für **Gleichstrommotoren** werden die nachstehenden Arten von Anlassern verwendet:

1. Metallanlasser mit Luftkühlung. Sie besitzen je nach Größe eine ebene oder walzenförmige Kontaktbahn, auf der die mit einer Kurbel oder einem Handrad verbundenen Kontaktbürsten schleifen. Die Kontaktbahn sowie die eigentlichen Widerstände sind abgedeckt, so daß spannungführende Teile gegen zufällige Berührung geschützt sind. Dagegen gestatten die Widerstandsgehäuse freien Luftzutritt zur Abkühlung des Widerstandsmaterials, welches, soweit es nur zum Anlassen dient, für vorübergehenden Stromdurchgang berechnet ist. Metallanlasser sollen nur für feststehende Motoren verwendet werden (Bild 52).

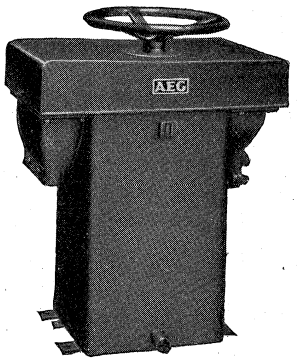


Bild 51.
Schaltwalzen-Stern-Dreieck-Schalter für Ölfüllung

2. Metallanlasser mit Ölkühlung unterscheiden sich von den luftgekühlten Metallanlassern dadurch, daß das Widerstandsmaterial und die Kontaktbahn in geschlossenem Gehäuse unter Öl liegen. Deshalb sind diese Anlasser besonders geeignet für feuchte, staubhaltige Räume und solche mit Explosionsgefahr (Bild 53).



Bild 52.
Metallanlasser mit Luftkühlung

3. Flüssigkeitsanlasser werden nur für größere Leistungen und ebenfalls nur für feststehende Motoren gebraucht. Als Flüssigkeit erhalten sie bei Inbetriebsetzung eine 10- bis 15prozentige Pottasche- oder Sodalösung, welcher gegen Einfrieren je Liter Wasser 300 cm³ Glyzerin von 1,25 spez. Gewicht zugesetzt werden können. Die Flüssigkeit wird nicht mitgeliefert. Die Flüssigkeitsanlasser werden nur durch die Motorleistung und die Art des Anlaufes bestimmt. Sie sind besonders als Reserveanlasser für Motoren verschiedener Leistung und Ausführung geeignet, da sie durch Verändern der Dichte der Flüssigkeit in weiten Grenzen den Betriebsverhältnissen angepaßt werden können. Die Anlaßhäufigkeit ist durch ihre Wärmeaufnahmefähigkeit begrenzt.

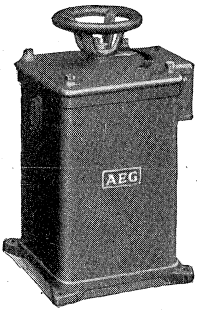


Bild 53 Metallanlasser mit Ölkühlung.

Bei Flüssigkeitsanlassern für Gleichstrommotoren wird die Erregerwicklung der Feldmagnete mit einem besonderen, aus Metallwiderständen bestehenden Feldschalter in zwangsläufiger Folge mit dem Anlasser ein- und ausgeschaltet.

4. Schaltwalzenanlasser besitzen im Gegensatz zu Metallanlassern eine Schaltwalze mit Kontaktsegmenten, von denen der Strom durch Kontaktfinger abgenommen wird. Alle Schaltwalzenanlasser sind gekapselt. (Bild 54.) Die Widerstände sind meist eingebaut. Bei solchen mit getrennten Widerständen sind diese normal mit gelochtem Blech abgedeckt. Infolge ihrer derben Bauart eignen sich Schaltwalzenanlasser für rauhe Betriebe und für ortsveränderliche Motoren.

Schaltwalzenanlasser mit Ölfüllung sind für Aufstellung im Freien, für staubige und für explosionsgefährdete Betriebe verwendbar, da sowohl die Schaltwalze als auch die Widerstände in Öl liegen. Sie sind für ortsveränderliche Motoren wenig geeignet. Die Schaltwalzenanlasser mit Ölkühlung werden auch mit Überstrom- und Spannungsrückgangsauslösung sowie mit eingebautem Ständerschalter geliefert. Bei Verwendung dieser Anlasser ist keine weitere Motorschutzvorrichtung erforderlich. Jedoch reichen sie nicht zum Abschalten der Kurzschlußleistung aus. Bei Anbau an den Motor kann die Bürstenabhebevorrichtung zwangsläufig mit dem Anlasser verbunden werden, so daß beim Anlassen nur ein Handgriff zu betätigen ist. (Bild 55). Die Möglichkeit eines zwangsläufigen Ablaufs der Schaltvorgänge macht diese Anlasser auch für ungeschulte Bedienung besonders geeignet.

Entsprechend den verschiedenen Betriebsarten sind zu unterscheiden:

Anlauf unter halber Last, d. h. mit 0,75fachem Drehmoment, z. B. Kreiselläufer, Umformer.

Anlauf unter voller Last, d. h. mit 1,5 fachem Drehmoment, z. B. lange Wellenstränge, Kolbenpumpen, Werkzeugmaschinen.

Anlauf unter Überlast, d. h. mit 1,7- bis 2fachem Drehmoment, z. B. Seilbahnen, Transportbänder, Stanzen, Scheren usw.

Anlauf mit schweren Schwungmassen oder langen Anlaufzeiten, z. B. Zucker oder Milchschleudern, Andrehvorrichtungen usw.

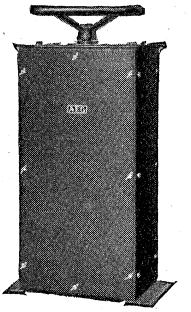


Bild 54.
Schaltwalzenanlasser mit Luftkühlung

Bei Beschaffung der Anlasser für Kreiselpumpen und -lüfter ist stets auf den Verwendungszweck hinzuweisen. Bei Anlauf mit schweren Schwungmassen ist eine besondere Berechnung der Anlasser erforderlich.

Bei der Wahl der Anlassergröße sind die Leistung des Motors und die Art des Anlaufes, außerdem bei Drehstrom die Läuferdaten und die Phasenzahl des Läufers zu

berücksichtigen. Motoren mit zweiphasigem Läufer sind fast immer von der **AEG** hergestellt, es genügt also hier neben der Anlaßart Angabe der Motortype. Bei Anlassern für dreiphasigen Läufer sind die Kennziffer $\frac{u}{i}$ (d. h. das Verhältnis von Läuferspannung, bei Stillstand zwischen zwei Schleifringen gemessen, zum Läuferstrom je Schleifring bei Vollast) und der Läuferstrom des Motors maßgebend.

Für die Belastung der Anlasser kommen neben der Motorgröße und der Art des Anlaufs noch die Anlaßzeit „t", d. h. die Zeit in Sekunden, während der die Anlaßstufen Strom führen, die Anlaßzahl „z", d. h. die Zahl der hintereinander — mit einer Pause $= 2 \times$ Anlaßzeit — bis zur Erreichung der Endtemperatur zulässigen Anlaßvorgänge, und die Anlaßhäufigkeit „h", d. h. die Zahl der in der Stunde in gleichmäßigen Abständen dauernd zulässigen Anlaßvorgänge, in Betracht. Ist z. B. die Anlaßzeit mit 14 s und die Anlaßzahl 3 angegeben, so kann der Anlauf mit zwei Pausen von je $2 \times 14 = 28$ s dreimal hintereinander, d. h. in einer Gesamtzeit von $3 \times 14 + 2 \times 28 = 98$ s stattfinden, oder wenn die Anlaßhäufigkeit 5 ist, kann der Anlauf fünfmal je Stunde erfolgen.

Anlaß- und Steuergeräte für Motoren größerer Schalthäufigkeit.

In neuzeitlichen Werkstätten und Industriebetrieben wird eine große Zahl elektrischer Antriebe verwendet, bei welchen die Motoren regelmäßig in kurzen Abständen ein- und ausgeschaltet und auch gebremst werden. Die oben beschriebenen Anlaßgeräte für Motoren, die längere Zeit ununterbrochen in Betrieb sind und bei denen gewöhnlich nur mit höchstens etwa sechsmaligem Anlassen je Stunde gerechnet wird, reichen für solche Betriebsfälle nicht aus. Häufig findet auch bei jedesmaligem Wiederanlauf ein Drehrichtungswechsel statt. Beispiele sind Werkzeugmaschinen, Krane, Aufzüge, Pressen, Walzwerk-Hilfsantriebe usw.

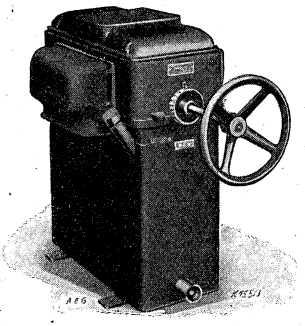


Bild 55. Schaltwalzenanlasser mit Ölfüllung für den Anbau an Motoren.

Zu bemerken ist noch, daß auch die Motoren für solche Antriebe besonders ausgelegt werden müssen, entweder als solche für aussetzenden Betrieb (AB siehe S. 468), oder als Sonderausführungen in genauer Anpassung an die Betriebsweise des Antriebes.

Als Anlaßgeräte kommen in Frage Steuerwalzen bis zu 240 Schaltungen/h (für normalen und mittelschweren Kranbetrieb) mit Kontaktringen auf einer drehbaren Walze zwischen ruhenden, federnden Kontaktfingern, Nockensteuerschalter mit Einzelschaltern, die durch drehbare Kurvenscheiben mechanisch betätigt werden, für 300 Schaltungen/h und mehr (schwere Greiferkrane, Hüttenwerksbetriebe), Schützensteuerungen für alle Schalthäufigkeiten und Leistungen. Ihre Anwendung ist in ständiger Zunahme begriffen. Näheres über die Ausführung der Schütze siehe S. 399, über den Aufbau der Schützensteuerungen siehe S. 246.

IX. Elektrische Einrichtungen zur Verbesserung des Leistungsfaktors.

Zur Verbesserung des Leistungsfaktors von Wechsel- und Drehstrommotoren oder, was gleichbedeutend ist, zur Verminderung des Blindstromverbrauches können folgende Mittel zur Anwendung gelangen:

1. Umlaufende Phasenschieber:
   a) Synchronmotor,
   b) Asynchronmotor mit Reihenschluß-Erregermaschine, Type DAD,
   c) Asynchronmotor mit netzerregter Erregermaschine, Type RAD,
   d) Asynchronmotor mit Gleichstrom-Erregermaschine, als synchronisierter Asynchronmotor,
2. Ruhende Phasenschieber:
   Kondensatoren.

Die umlaufenden Phasenschieber arbeiten in der Regel belastet, d. h. außer der Blindstromlieferung in das elektrische Netz geben sie gleichzeitig mechanische Leistung an eine unmittelbar oder mittelbar gekuppelte Arbeitsmaschine ab. Wo ein solcher Antrieb gleichzeitig möglich oder erforderlich ist, ergibt sich damit bei mittleren und großen Leistungen die günstigste Lösung. Bei Motoren kleinerer Leistung kommt diese Lösung nicht in Frage, hier ist der Kondensator als ruhender Phasenschieber das gegebene Kompensationsmittel.

In den Fällen, in denen ein unbelasteter umlaufender Phasenschieber in Betracht kommt, wird man in erster Linie einen leerlaufenden Synchronmotor wählen.

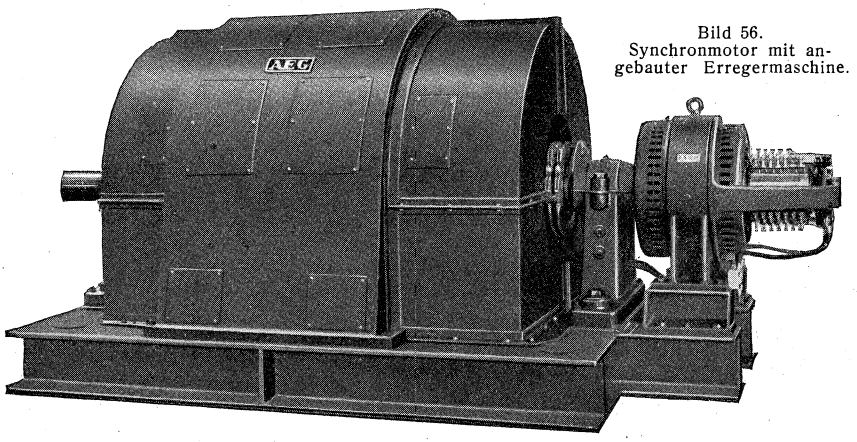


Bild 56.
Synchronmotor mit angebauter Erregermaschine.

Der Synchronmotor.

Der Synchronmotor (Bild 56) entspricht in seinem Aufbau dem eines Synchrongenerators. Die Erregung liefert eine Gleichstromerregermaschine, die bei schneller laufenden Motoren unmittelbar angebaut ist. Beim Antrieb von großen, langsamlaufenden Arbeitsmaschinen wird ein getrennter Erregersatz vorgesehen.

Der Synchronmotor arbeitet in der Regel mit einem Leistungsfaktor von 1 bis 0,8 als belasteter oder mit einem solchen von Null als leerlaufender Phasenschieber. d. h. er gibt in letzterem Falle seine ganze elektrische Leistung kapazitiv an das Netz ab.

Der Synchronmotor läuft asynchron bei unmittelbarer Einschaltung an, kann aber auch mittels Sterndreieckschalter oder Anlaßumspanner angelassen werden (Bild 57). Er erhält zu diesem Zwecke Dämpferstäbe und lamellierte Pole oder Polschuhe. Das Anzugsmoment ist ähnlich dem des Asynchron-Käfigläufermotors, der

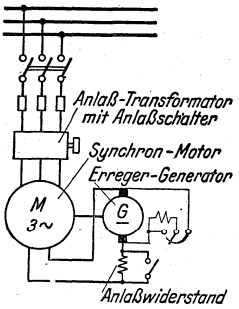


Bild 57. Schaltplan für asynchrones Anlassen eines Synchronmotors durch Anlaßumspanner.

Anlaufstrom gleich groß oder niedriger. Nach Erreichen der vollen asynchronen Drehzahl zieht sich der Motor nach Einschaltung der Erregung von selbst in den Synchronismus. Die Arbeitsmaschine (Verdichter, Pumpe, Umformer usw.) muß aber während des Anlaufens auch bei voller Drehzahl noch genügend entlastet sein, damit das Synchronisiermoment (je nach der Auslegung etwa 30 bis 100 v.H.) ausreicht und der asynchrone Schlupf (etwa 2 bis 4 v. H.) nicht zu groß ist.

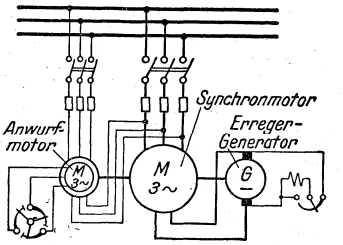


Bild 58. Schaltplan für das Anlassen eines Synchronmotors mit in Reihe geschaltetem Anwurfmotor.

Synchronmotoren mit Anwurfmotoren werden kaum noch verwendet (Bild 58). Die gegebene Arbeitsmaschine für den Synchronmotor ist der Groß-Kolbenverdichter für Stickstoff- und Hydrierwerke, da er billiger als der Asynchronmotor ist, einen größeren Luftspalt und besseren Wirkungsgrad besitzt.

Der Asynchronmotor mit Erregermaschine.

Die Reihenschluß-Erregermaschine DAD (Bild 59) wird nach erfolgtem Anlassen des Vordermotors (Asynchronmotors) mit einem Hebelumschalter ohne Unterbrechung auf dessen Läufer geschaltet und liefert dessen Erregerstrom, so daß das Netz von diesem Erregerstrom entlastet wird (Bild 60). Die Reihenschluß-Erregermaschine ist nur elektrisch mit dem Vordermotor gekuppelt und kann infolgedessen mit einem besonderen Antriebsmotor unabhängig von dem Vordermotor aufgestellt werden. Außer der Verbesserung des Leistungsfaktors wird noch der Vorteil erzielt, daß im allgemeinen die Leistung des Vordermotors um 5 bis 10% steigt. Da die Bürsten des Vordermotors dauernd aufliegen, muß er mit Regelschleifringläufer ausgerüstet werden. Die Reihenschluß-Erregermaschine wird nur in solchen Anlagen wirtschaftlich Verwendung finden, in denen Asynchronmotoren mit Leistungen von mehr als 300 bis 600 kW neben kleineren Motoren dauernd in Betrieb sind; sie hat eine Verbesserung des Gesamtleistungsfaktors zur Folge, denn die so erregten Motoren arbeiten innerhalb der Belastungsgrenzen von 40 bis 100% mit einem Leistungsfaktor von 1. Das Anzugsmoment

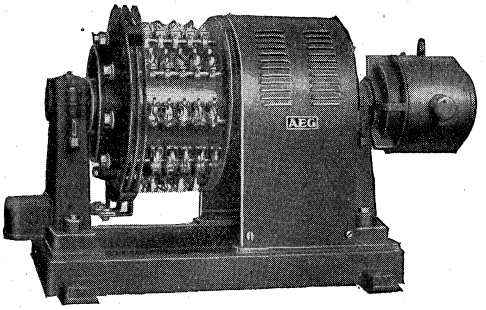


Bild 59. Reihenschluß-Erregermaschine DAD.

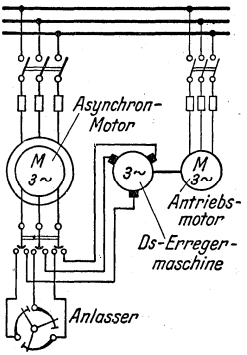


Bild 60. Schaltplan für einen Asynchronmotor mit Reihenschluß-Erregermaschine.

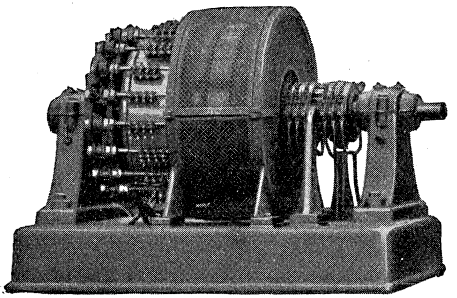


Bild 61. Netzerregte Erregermaschine RAD.

der Asynchronmotoren wird durch die Reihenschluß - Erregermaschine nicht nachteilig beeinflußt. Das Kippmoment erhöht sich wesentlich.

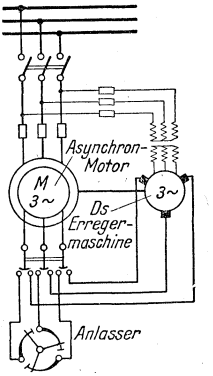


Bild 62. Schaltplan für einen Asynchronmotor mit netzerregter Erregermaschine.

Die netzerregte Erregermaschine RAD unterscheidet sich dadurch von der Reihenschluß-Erregermaschine, daß sie den Leistungsfaktor des Vordermotors von Leerlauf bis Vollast auf 1 und darüber hinaus kompensiert. Der Grad der Überkompensation ist von der Motorleistung abhängig. Der netzerregte Asynchronmotor, der außer seiner vollen Wirkleistung noch einen Teil überschüssige Blindleistung für den Leistungsfaktorausgleich anderer Motoren abgeben soll, muß größer werden, als wenn er nur mit einem Leistungsfaktor von 1 arbeitet. Bei fallender Wirkbelastung kann der netzerregte Asynchronmotor steigende Blindleistung abgeben, so daß er bei vollständiger mechanischer Entlastung als leerlaufender Phasenschieber arbeitet.

Die Ansicht dieser Erregermaschine ist in Bild 61, das grundsätzliche Schema des netzerregten Asynchronmotors in Bild 62 zu erkennen. Die netzerregte Erregermaschine ist nicht nur elektrisch, sondern auch mechanisch mit dem Vordermotor durch unmittelbare Kupplung, Zahnradvorgelege oder Gelenkkette verbunden. Sie benötigt daher keinen Antriebsmotor, dagegen zur Verbindung mit dem Netz einen Erregerumspanner, der die Netzspannung auf die Schlupfspannung herunterspannt. Beim Asynchronmotor mit netzerregter Erregermaschine werden Anzugs- und Kippmoment nicht nachteilig beeinflußt. Der Asynchronmotor muß mit Regelschleifringläufer ausgerüstet werden.

Bild 63 zeigt den Verlauf der Leistungsfaktorkurven in Abhängigkeit von der Belastung von Asynchronmotoren, die ohne bzw. mit Reihenschluß- und mit netzerregter Erregermaschine in Betrieb sind. Bei letzterer ist vorausgesetzt, daß der Motor bei Vollast mit einem Leistungsfaktor von 1 arbeitet.

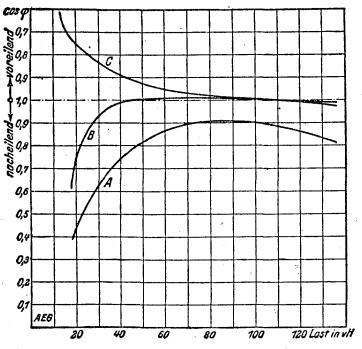


Bild 63. Leistungsfaktorkurven.

Bei dem synchronisierten Asynchronmotor wird der Vordermotor von einer Gleichstrom-Erregermaschine (Bild 64) erregt, die in der Regel unmittelbar gekuppelt ist. Der Motor wird als

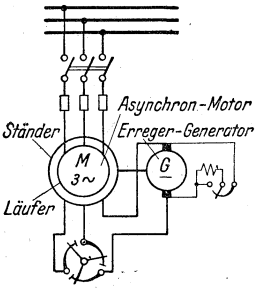


Bild 64.
Schaltplan für einen synchronisierten Asynchronmotor.

üblicher Asynchronmotor angelassen und arbeitet nach Erreichung der vollen Drehzahl als Synchronmotor. Der dem Schlupfstrom überlagerte Gleichstrom bringt ihn in synchronen Lauf. Da die Gleichstrom-Erregerspannung der Schlupfspannung angepaßt werden muß, so ist die Erregermaschine eine Hochstrommaschine. Der synchronisierte Asynchronmotor kann ebenfalls als belasteter und als leerlaufender Phasenschieber Verwendung finden. Sein Anzugsmoment ist gleich dem eines üblichen Asynchronmotors, dagegen wird sein Kippmoment vermindert. Gegenüber dem Asynchronmotor mit Reihenschluß bzw. netzerregter Erregermaschine hat er den Vorteil einer bequemen Einstellung des Leistungsfaktors, da nur eine Verstellung des Nebenschlußreglers der Gleichstrom-Erregermaschine notwendig ist.

Kondensatoren.

Starkstromkondensatoren haben als ruhende Phasenschieber eine starke, ständig zunehmende Verbreitung gefunden. Sie ist vor allem zurückzuführen auf den unvergleichlich geringen Eigenverbrauch (weniger als 0,3% der Kondensatornennleistung), die Möglichkeit der Beibehaltung der Käfigläufermotoren als der einfachsten und bewährtesten Motorart, die Unterteilbarkeit der Kondensatorleistung ohne wesentliche Verteuerung und somit die Einbaumöglichkeit in den tatsächlichen Blindverbrauchs-Schwerpunkten, die Regelbarkeit und Erweiterungsmöglichkeit je nach Bedarf; zu berücksichtigen sind ferner die hohe Betriebssicherheit und lange Lebensdauer, die Einfachheit in der Aufstellung, Bedienung und Wartung, sowie die Anspruchslosigkeit hinsichtlich des Aufstellungsortes. Auf Grund der vernachlässigbar niedrigen Verluste sind die Kondensatoren den vorstehend beschriebenen umlaufenden, belasteten Phasenschiebern im allgemeinen im Drehzahlbereich von 1500 ... 750 Umdrehungen bis zu Motorleistungen von 1000 ... 600 kW, den unbelasteten Phasenschiebern dagegen bis zu dem allergrößten Blindleistungsbedarf von 10 000 ... 20 000 kVar und darüber weit überlegen. Bei diesem Vergleich sind eine Betriebsstundenzahl von 3000 h/Jahr und normale Leistungs- und Arbeitskosten zugrunde gelegt. Ihr Einbau macht sich durch die erzielten Einsparungen an Blindstromkosten je nach Tarif, Betriebsstundenzahl, Anschlußspannung usw. schon innerhalb von 0,3 ... 1,5 Jahren bezahlt.

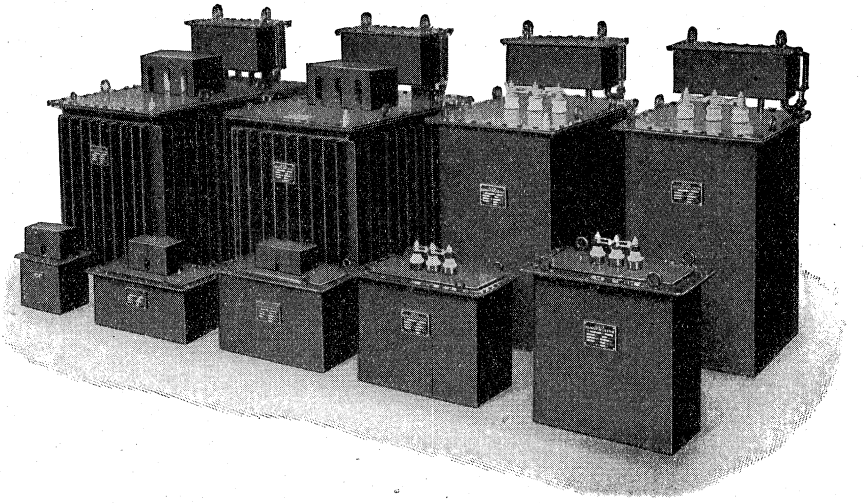
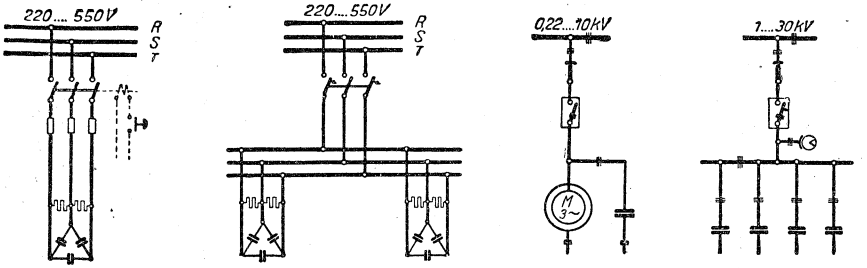


Bild 65. Starkstromkondensatoren für 380 und 500 V Ds, 50 Hz; Einheiten von 3...125 kVar Klemmenschutz teilweise abgenommen, Entladewiderstände sichtbar.

In Industrieanlagen dienen die Kondensatoren bei Fremdstrombezug vor allem der Leistungsfaktorverbesserung, um hierdurch eine Herabsetzung der meist tariflich festgesetzten Blindstromkosten zu erzielen. Daneben ergibt sich durch Verringerung der Scheinströme auch eine solche des Spannungsabfalles und der Übertragungsverluste und damit eine günstigere Ausnutzung der Krafterzeugungs- und Übertragungseinrichtungen. Durch an richtiger Stelle eingesetzte Kondensatoren erübrigt sich somit durch Entlastung der Netze und Industrieanlagen sehr häufig die Verstärkung von Stromerzeugern, Umspannern, Fernleitungen und Kabeln. Sie liefern damit einen wertvollen Beitrag beim Einsparen von Rohstoffen. Ferner können die Kondensatoren u. a. für Netzspannungsregelung sowie zur Symmetrierung von einphasigen Belastungen verwendet werden.

Die Kondensatoren werden in einfachster Weise zu den induktiven Stromverbrauchern, wie z. B. Asynchronmaschinen, Umspannern, Öfen, Schweißmaschinen usw. parallel geschaltet und liefern hierbei die von diesen Verbrauchern benötigten Magneti-



A = Schütz oder Hebelschalter mit Sicherungen. B = Gemeinsamer Schutzschalter mit Wärme- und Schnellauslösern. C = Einzelkompensierter Blindstromverbraucher (Blindstromverbraucher dient als Entladeeinrichtung). D = Gemeinsamer Leistungsschalter (mit und ohne Vorstufe) und Entladespannungswandler.

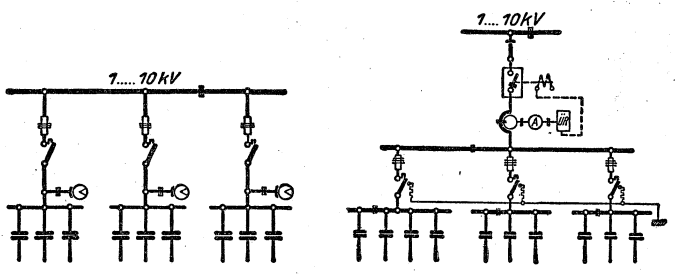
Bild 66. Schaltbilder für Niederspannungs- und Hochspannungs-Kondensatoranlagen.

sierungsströme ganz oder teilweise, je nachdem, wieweit die Kompensation getrieben wird.

Die Kondensatoren im Bereich von 220 ... 550 V werden für Einzelleistungen von 3 ... 125 kVar hergestellt, während die Hochspannungskondensatoren für Leistungen von 30 ... 400 kVar gebaut werden. Jeder Kondensator besteht aus einer großen Anzahl parallel geschalteter, über Sicherungsdrähte angeschlossener, für geringe Einzelleistung ausgelegter Wickel, wobei die Ölfüllung des Kastens nicht nur als Kühlmittel, sondern auch als zusätzliches Dielektrikum dient. Bei Hochspannung kann eine Reihenschaltung mehrerer Wickelgruppen vorgenommen werden. Der kräftige, geschweißte, mit einer Erdungsschraube versehene Eisenbehälter wird bei kleinen Kondensatoren nach Fertigstellung luftdicht abgeschlossen, während bei Leistungen von 50 kVar ab aufwärts für alle Spannungen von der AEG bereits seit Jahren zur Erhöhung der Betriebssicherheit besonders ausgebildete Ölausdehnungsgefäße angeordnet werden (Bild 65). Die Durchführungs-Isolatoren werden kittlos abgedichtet.

Sämtliche Kondensatoren haben Glattblechdeckel mit einer kräftigen Erdungsschraube; im Deckel der größeren Kondensatoren ist eine Thermometertasche mit Schraubkappe vorgesehen. Die Niederspannungs-Kondensatoren werden stets mit einer Klemmenschutzhaube geliefert. Ein etwa notwendig werdendes Nachfüllen des Kondensator-Sonderöles darf nur unter Beobachtung besonderer Vorschriften erfolgen.

Die Kondensatoren können für jede in Betracht kommende Spannung von 220 V aufwärts sowie für jedes Wechselstromsystem und für alle vorkommenden Frequenzen gebaut werden. Da die Leistungsabgabe eines Kondensators quadratisch mit der Anschlußspannung und im Verhältnis mit der Netzfrequenz steigt, so können die Kondensatoren nicht ohne weiteres an höhere Spannungen und Frequenzen als die Nennwerte angeschlossen werden. Die AEG-Kondensatoren sind jedoch so reichlich ausgelegt, daß sie unbeschadet dauernd an eine um 10% und 6 ... 8 Stunden lang an eine bis 15% über Kondensatornennspannung liegende Netzspannung angeschlossen werden können. Die Kondensatoren vertragen bei Nennspannung durch Oberwellen eine Erhöhung des Effektivstromes um max. 30%. Bei den normalen Innenraumtypen kann die Umgebungstemperatur bis 35° C betragen.



A = Vorstufen-Leistungstrennschalter mit Hochleistungssicherungen und Entladespannungswandler. B = Gemeinsamer Leistungsschalter mit Sekundärrelais, Gruppenabsicherung und Gruppen-Vorstufen-Leistungstrennschalter mit angebauten Entladewiderständen.

Bild 67. Schaltbilder für die Regelung von Hochspannungs-Kondensatoranlagen unter Spannung.

Die Kondensatoren werden parallel zu den zu kompensierenden induktiven Blindstromverbrauchern ans Netz angeschlossen. Hierbei können bei Niederspannungs-Kondensatoren Hebelschalter mit Messer- oder Schiebekontakten u. vorgeschalteten Sicherungen entsprechend Bild 66 A dann verwendet werden, wenn die Kondensatorströme 100 A nicht übersteigen, nur sehr seltenes Schalten in Betracht kommt und die Hebelschalter und Sicherungen mindestens für den doppelten Kondensator-Nennstrom bemessen werden. Es empfiehlt sich jedoch, vor allem Schutzschalter Form EMsb, MSB und MSBO entsprechend Bild 66 B zu verwenden. Mit Rücksicht auf die Einstellbarkeit der Wärmeauslöser sollen diese Schutzschalter höchstens mit 80 ... 85% des Schalternennstromes kapazitiv belastet werden. Zuweilen wird der Kondensator entsprechend Bild 66 C gemeinsam mit dem zu kompensierenden Motor oder Umspanner unter Verzicht auf einen besonderen Kondensatorschalter an das Netz geschaltet (Einzelkompensation). Handelt es sich hierbei um einen Asynchronmotor, so ist darauf zu achten, daß der Vollast-Leistungsfaktor dieses Motors nicht über cos $\varphi = 0{,}95 \ldots 0{,}98$ ind. verbessert wird (Selbsterregungsgefahr beim Abschalten).

Beim Schalten von nur einer Hochspannungs-Kondensatorbatterie in einer Anlage können je nach der erforderlichen Abschaltleistung Druckgasschalter Form CP und CKL oder vorstufenlose Ölschalter Form CO benutzt werden (Bild 66 D). Mit Rücksicht auf bessere Regelfähigkeit und besseren Einzelüberstromschutz ist eine Unterteilung der Batterie in 300 ... 1000-kVar-Schaltgruppen zweckmäßig. Beim Parallelschalten mehrerer an gemeinsamer Sammelschiene angeschlossener Hochspannungs-Kondensatorgruppen muß jeder Leistungsschalter mit einem Dämpfungsorgan ausgerüstet werden. Es können hierzu beispielsweise die neu entwickelten, öllosen Vorstufen-Leistungstrennschalter Form CLT mod mit vorgeschalteten Hochleistungssicherungen als Kurzschlußschutz verwendet werden (Bild 67 A). Man

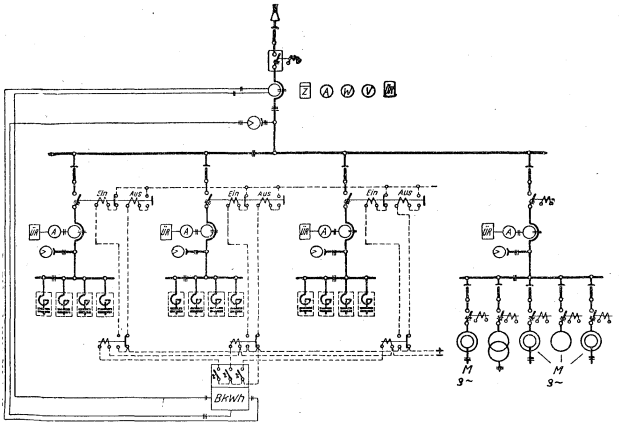


Bild 68. Selbsttätige Kondensatorregeleinrichtung mit Kontakt-Blindverbrauchs-Zähler, Zuschaltung bei induktiven, Abschaltung bei kapazitiven Blindlastwerten.

kann auch einen gemeinsamen Druckgasschalter ausreichender Abschaltleistung anwenden, hinter welchem die mit Vorstufen-Leistungstrennschaltern oder Dämpfungswiderständen ausgerüsteten Regelgruppen angeordnet werden (Bild 67 B).

Bei Niederspannung werden sämtliche Kondensatoren mit hochohmigen Entladewiderständen ausgerüstet. Die mitgelieferten Entladewiderstände sind mit ihren metallenen Endkappen in die hierfür vorgesehenen Haltevorrichtungen federnd eingebaut. Bei Spannungen von 1000 V aufwärts müssen für Entladezwecke je Kondensatorleistungsschalter ein Drehstromspannungswandler Form DGO oder zwei Spannungswandler VWP in „V-Schaltung" vorgesehen werden. Im übrigen können die Vorstufen - Leistungstrennschalter Form CLT mod auch mit angebauten Entladewiderständen geliefert werden (Bild 67 B). Die für die Entladung dienenden Hochspannungswicklungen sollen unlösbar mit den Kondensatorklemmen verbunden sein. Eine Entladung der Kondensatorenbeläge ist in jedem Falle unbedingt erforderlich, da die nach der Abschaltung des Kondensators verbleibenden Restladungen eine Gefährdung des Bedienungspersonals hervorrufen würden. Vor dem Berüh-

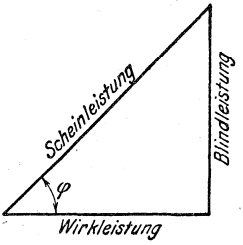


Bild 69. Geometrische Addition von Wirk- und Blindleistung.

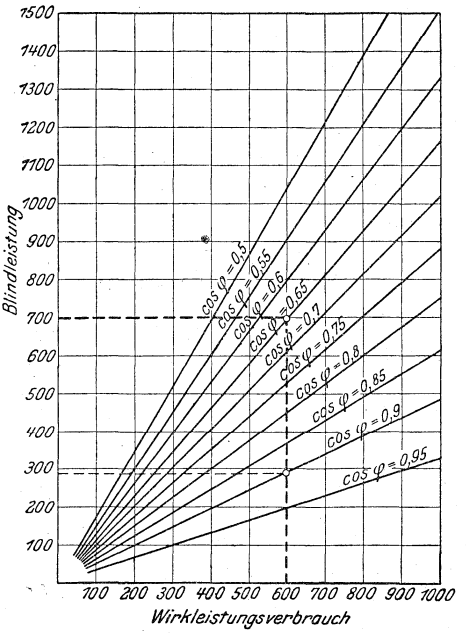


Bild 70. Ermittlung der Blindleistung aus dem Wirkleistungsverbrauch und dem Leistungsfaktor.

ren der Klemmen müssen diese außerdem stets geerdet werden. Die Kondensatoren dürfen unter keinen Umständen an Ort und Stelle geöffnet werden, da hierdurch die elektrische Festigkeit zerstört werden kann und die Garantiepflicht erlischt

Sofern eine selbsttätige Regelung erforderlich wird, kann diese bei Über- bzw. Unterschreitung einer bestimmten Blindleistung oder Netzspannung oder beider Regelgrößen durch entsprechende Relais bzw. Kontaktinstrumente entsprechend Bild 68 durchgeführt werden. Man wird hierbei im allgemeinen eine von Hand einzuschaltende Grundbatterie vorsehen und die zwei-, höchstens fünfstufige Regelbatterie lediglich zum Ausgleichen der Belastungsspitzen heranziehen.

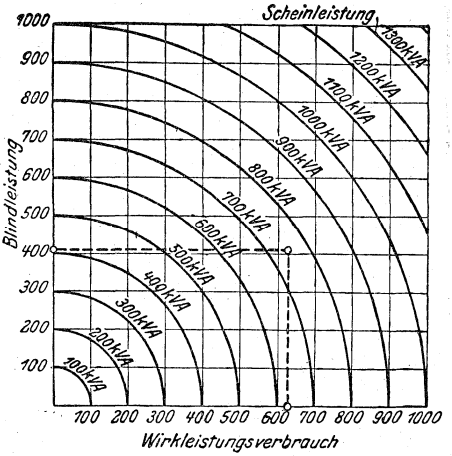


Bild 71. Ermittlung der Scheinleistung aus dem Blind- und Wirkleistungsverbrauch.

Bei der Ermittlung der Größe der erforderlichen Phasenschieberleistung ist zu beachten, daß sich die Wirk- und die Blindleistung nicht arithmetisch, sondern geometrisch addieren (Bild 69). Die geometrische Summe ergibt die Scheinleistung, der Winkel zwischen Wirk- und Scheinleistung die Phasenverschiebung. Das Schaubild 70 ermöglicht eine einfache Ermittlung der Blindleistung bei gegebenem Wirkleistungsverbrauch und Leistungsfaktor, und Bild 71 der Scheinleistung bei gegebenem Blind- und Wirkleistungsverbrauch.

Beispiel: In einer Anlage mit einem Gesamtverbrauch von 600 kW soll der Leistungsfaktor von 0,65 auf 0,9 verbessert werden, und zwar durch Aufstellung einer Kondensatorenbatterie, gegebenenfalls eines leerlaufenden Phasenschiebers.

Lösung: Zunächst wird festgestellt, welchen Blindleistungsverbrauch die Anlage hat. Dieser ergibt sich nach Bild 70 aus der Wirkleistung von 600 kW und cos $\varphi = 0{,}65$ zu 700 kVar. Ferner erhält man für den vorgeschriebenen Leistungsfaktor von cos $\varphi = 0{,}9$ als höchsten Blindleistungsverbrauch 290 kVar. Der aufzustellende Phasenschieber muß also die Differenz, d. h. 410 kVar Blindleistung kompensieren. Wird in der Anlage ein Motor für 200 kW Leistungsaufnahme neu erforderlich, so wird man diesen unter Umständen zur Phasenverbesserung mit heranziehen. Nach Bild 70 wäre der belastete Phasenschieber für 200 kW Wirkleistungsaufnahme und etwa 320 kVar Blindleistungsabgabe, d. h. nach Bild 71 für 390 kVA Scheinleistungsaufnahme auszulegen. Unter diesen Verhältnissen weist die Gesamtanlage eine Belastung von 800 kW bei dem angestrebten cos $\varphi = 0{,}9$ auf.

X. Klemmenbezeichnungen und innere Schaltung.

Gleichstrom.

Die Klemmen eines **Gleichstrommotors** sind wie folgt bezeichnet: A und B die Ankerwicklung, C und D die Nebenschlußwicklung, E und F die Reihenschlußwicklung, G und H die Hilfspol- (Wendepol-) Wicklung, J und K bei fremderregten Maschinen die Erregerwicklung.

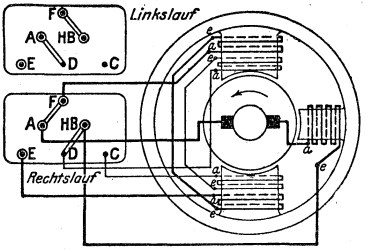


Bild 72. Nebenschluß-Motor Type VGN 5—55 mit Hilfskompoundwicklung.

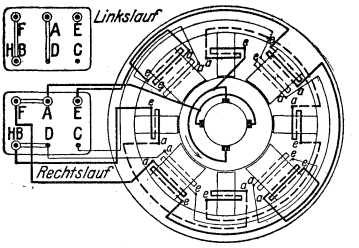


Bild 73. Nebenschluß-Motor Type GA 64—75 mit Hilfskompoundwicklung.

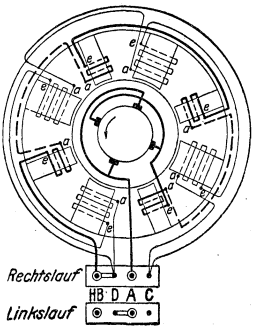


Bild 74. Nebenschluß-Maschine Type GA 200—1200.

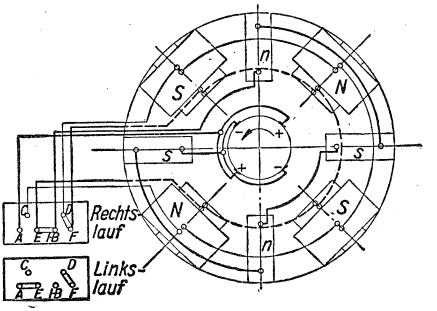


Bild 75. Doppelschluß-Motor.

Anlasser.

Die Klemmen eines Gleichstromanlassers sind bezeichnet mit:

L Anschluß für das Netz,
M Anschluß für die Nebenschluß- (Magnet-) Wicklung.
R Anschluß für den Anker.

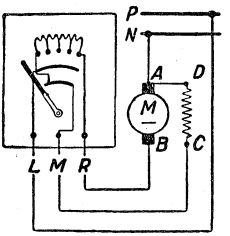


Bild 76. Anlasser für Gleichstrom-Nebenschlußmotoren ohne Regelung.

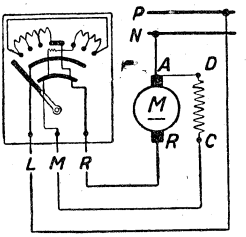


Bild 77. Anlasser für Gleichstrom-Nebenschlußmotoren zur Erhöhung der Drehzahl durch Feldschwächung.

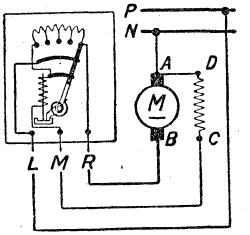


Bild 78. Anlasser für Gleichstrom-Nebenschlußmotoren mit selbsttätiger Spannungrückgangs-Ausschaltung.



Linkslauf



Linkslauf



Linkslauf

Drehstrom.

Motoren.

Die Klemmen eines Drehstrommotors sind bezeichnet mit:

U	V	W	Anfänge der drei Ständerwicklungen,
X	Y	Z	Enden der drei Ständerwicklungen,
u	x/y	v	Enden einer zweiphasigen Läuferwicklung,
u	v	w	Enden einer dreiphasigen Läuferwicklung.

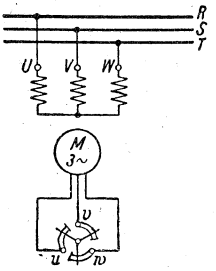


Bild 79. Drehstrommotor mit dreiphasigem Schleifringläufer und Sternschaltung des Ständers.

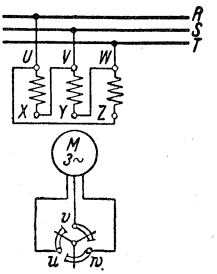


Bild 80. Drehstrommotor mit dreiphasigem Schleifringläufer und Dreieckschaltung des Ständers.

Über Stern- und Dreieckschaltung siehe Seite 489.

Anlasser.

Die Klemmen eines Drehstromanlassers haben folgende Bezeichnungen:

Ständeranlasser mit 3 Klemmen:	X Y Z	Anschlüsse für den Motor,
Ständeranlasser mit 6 Klemmen:	R S T	Anschlüsse für das Netz,
	U V W	Anschlüsse für den Motor,
Läuferanlasser:	u x/y v	für zweiphasige Läufer,
	u v w	für dreiphasige Läufer.

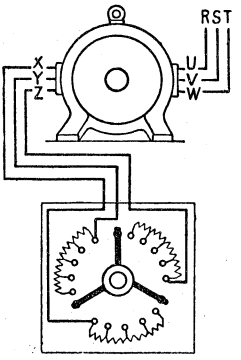


Bild 81. Ständeranlasser mit drei Klemmen für Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer.

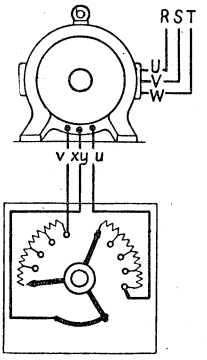


Bild 82. Anlasser für Drehstrommotoren mit zweiphasigem Läufer.

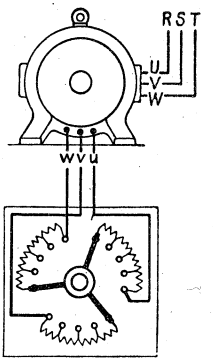
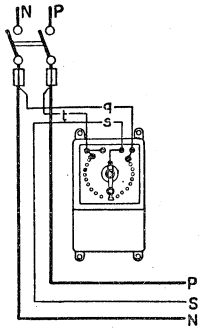


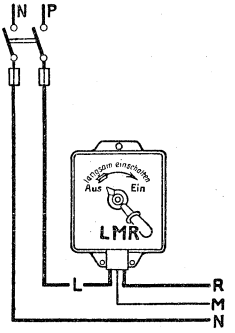
Bild 83. Läuferanlasser für Drehstrommotoren mit dreiphasigem Läufer.

XI. Schal-

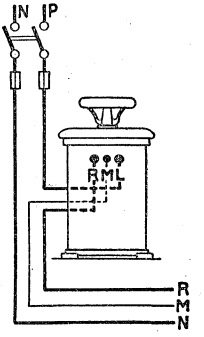
Schaltung von Gleichstrom-



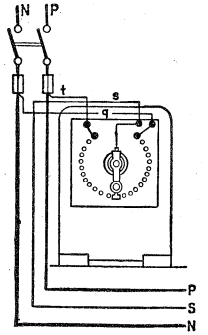
Nebenschlußregler für kleine Generatoren.



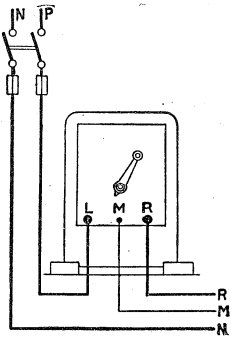
Anlasser, hängende Ausführung.



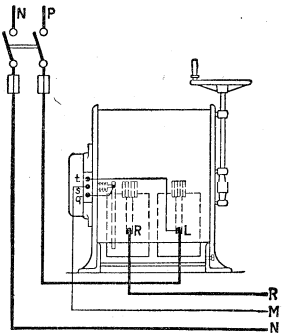
Anlasser mit Ölkühlung, stehende Ausführung.



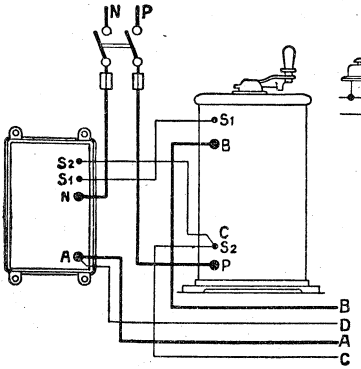
Nebenschlußregler für große Generatoren.



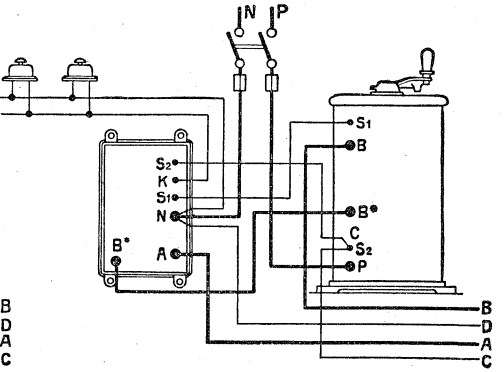
Anlasser, stehende Ausführung.



Flüssigkeitsanlasser mit Feldschalter.



Schaltwalzenanlasser mit Schütz für Spannungsrückgang und Überstrom.

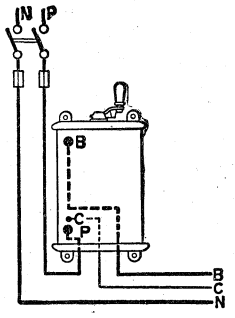


Schaltwalzenanlasser mit Schütz für Spannungsrückgang, Überstrom und Bremsung durch Fernbetätigung.

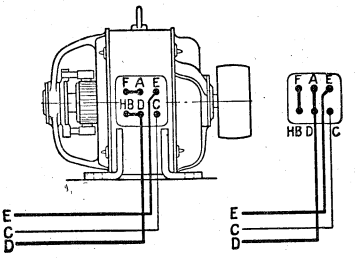
tungen.

Motoren und Anlassern.

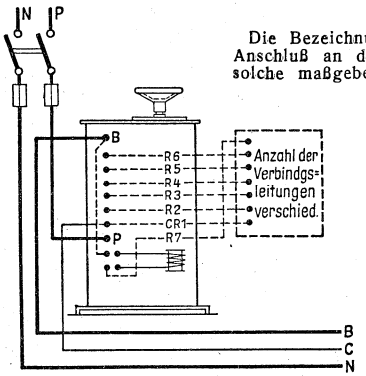
Bei Gebrauch als Nebenschluß-Generator sind die Klemmen E und F miteinander zu verbinden (kurzzuschließen). Für Kompoundgeneratoren besondere Angaben einfordern.



Schaltwalzenanlasser, hängende Ausführung.

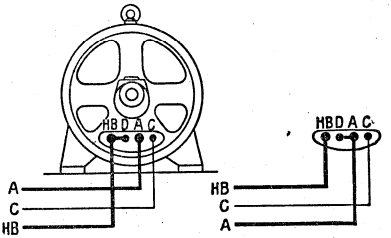


Gleichstrommotor für Rechtslauf. Type GA 64—75 für Linkslauf.

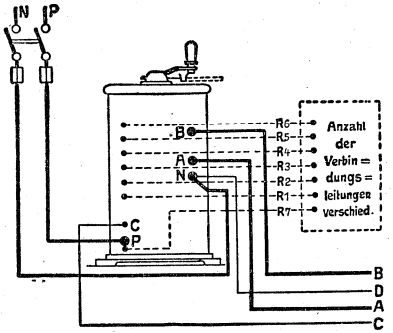


Schaltwalzenanlasser, stehende Ausführung, mit getrennten Widerständen zur Veränderung der Drehzahl.

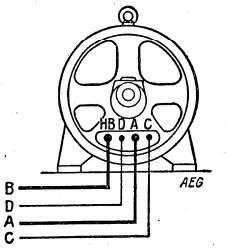
Die Bezeichnung der Netzklemmen entspricht den REM. Für den Anschluß an das Netz oder den Anlasser sind die Buchstaben als solche maßgebend, unabhängig von der Anordnung am Klemmbrett einer Maschine, d. h. R (B) des Anlassers an HB eines Motors angeschlossen, ergibt Linkslauf, an A Rechtslauf des Motors.



Gleichstrommotor für Rechtslauf. Type GA 200—1200 für Linkslauf

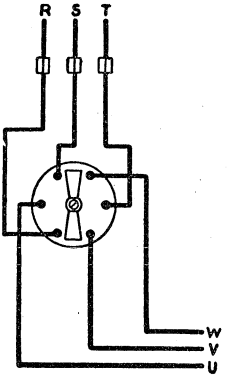


Schaltwalzenanlasser mit getrennten Widerständen für Umkehrung der Drehrichtung.

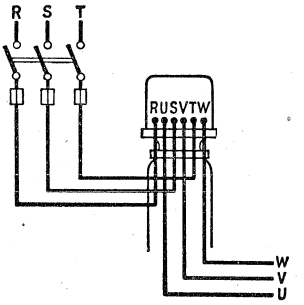


Gleichstrommotor GA 200—1200.*

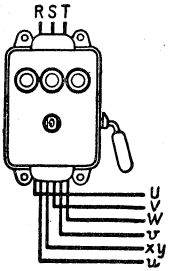
Schaltung von Drehstrom-



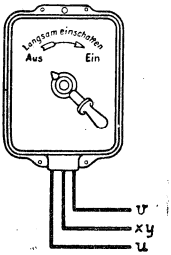
Dreipoliger Ausschalter.



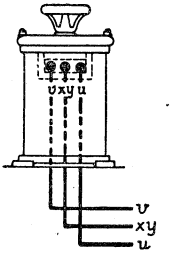
Selbsttätiger Druckschalter, zweipolig.



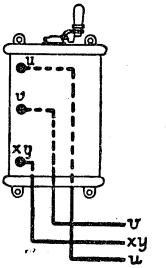
Zweiphasiger Läuferanlasser mit eingebautem Ständerschalter und Sicherungen, hängende **Ausführung.**



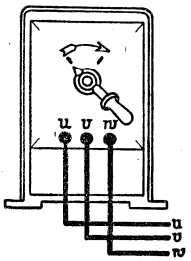
Zweiphasiger Läuferanlasser, hängende **Ausführung.**



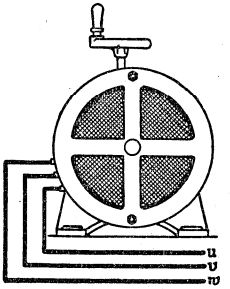
Zweiphasiger Läuferanlasser mit Ölkühlung, stehende **Ausführung.**



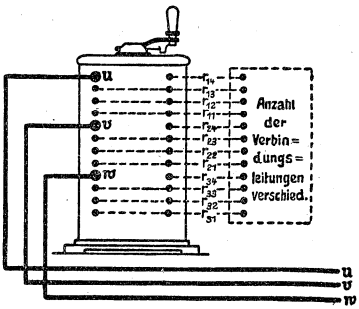
Zweiphasiger Schaltwalzenanlasser, hängende **Ausführung.**



Dreiphasiger Läuferanlasser, stehende Ausführung.

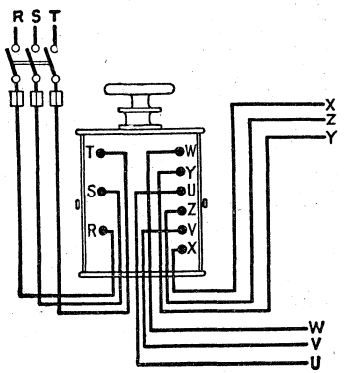


Flüssigkeitsanlasser.



Schaltwalzenanlasser für Verminderung der Drehzahl, stehende Ausführung.

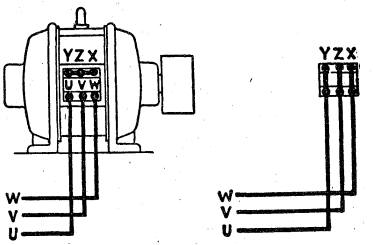
Motoren und Anlassern.



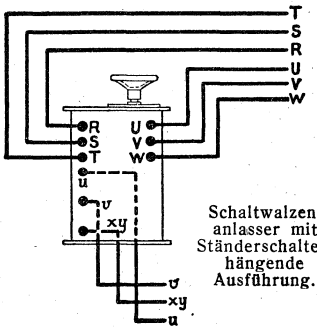
Sterndreieckschalter.

(Das Verbindungsstück X Y Z der Sternschaltung fällt bei Sterndreieckschaltung am Motor fort.)

Sternschaltung. Dreieckschaltung.

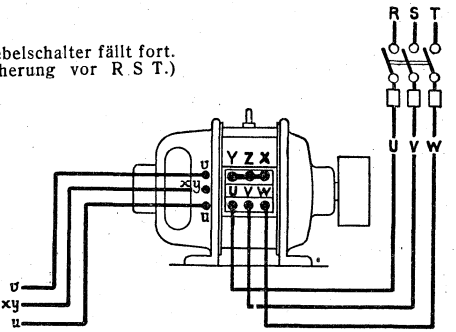


Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer.

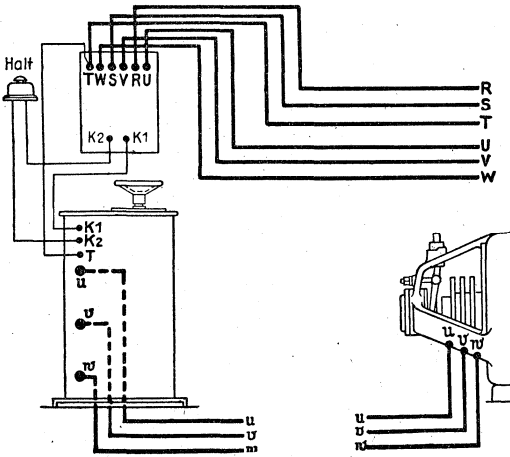


Schaltwalzenanlasser mit Ständerschalter, hängende Ausführung.

(Hebelschalter fällt fort. Sicherung vor R S T.)

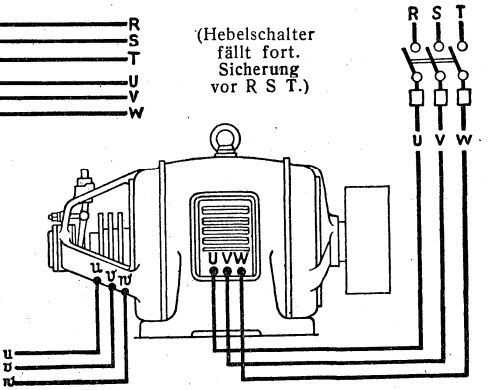


Drehstrommotor mit zweiphasigem Schleifringläufer.



Schaltwalzenanlasser mit Schütz für Spannungsrückgang, Überstrom und Fernausschaltung.

(Hebelschalter fällt fort. Sicherung vor R S T.)



Drehstrommotor mit dreiphasigem Schleifringläufer.

XI. Anleitung zur Inbetriebsetzung von Elektromotoren

bei der ersten Aufstellung, bei Wiederaufstellung nach einer Instandsetzung oder nach einer Ortsveränderung.

Man prüfe zunächst, ob der Motor mechanisch in Ordnung ist und ob die Welle sich leicht dreht. Gleitlager müssen mit Öl gefüllt sein, und die Schmierringe müssen sich frei bewegen. Bisweilen hat sich bei der Beförderung die Lagerbuchse verschoben und klemmt den Schmierring fest.

Gleichstrommotoren

Man prüfe die verlegten Zuleitungen auf Erdschluß und Nebenschluß (siehe „Isolationsmessungen"). Man schließe Motor und Anlasser nach dem zutreffenden Schaltbild auf Seite 520/521 an. Man wähle die Nennstromstärke der Schmelzsicherung entsprechend dem Leitungsquerschnitt und prüfe, ob der Motorschutzschalter der zu erwartenden Betriebsstromstärke (siehe Leistungsschild des Motors) entsprechend eingestellt ist. Ist ein Motorschutzschalter nicht vorhanden, so sorge man für Einbau eines solchen, da die Sicherung keinen ausreichenden Schutz des Motors gegen Überlastungen bildet (siehe Seite 506). Man prüfe, ob der Bürstenhalterstern in richtiger Stellung steht (siehe Seite 494).

Nun lege man unter jede Bürste ein Stück Papier, so daß die Bürsten den Kommutator nicht berühren, dann schalte man den Hebelschalter und den Anlasser ein. Eine Prüflampe, die an zwei benachbarte Bürstenhalter angehalten wird (bei 440 V zwei in Reihe geschaltete Lampen), muß jetzt hell aufleuchten. Ein Stück Eisen, z. B. ein Schraubenschlüssel, muß von den Magnetpolen heftig angezogen werden. Zeigen sich diese Merkmale nicht, so ist der Fehler aufzusuchen und zu beseitigen. Er wird in einer Leitungsunterbrechung oder in falscher Schaltung liegen.

Ist alles in Ordnung befunden, so schalte man Anlasser und Hebelschalter aus. Erst dann entferne man die Papierunterlagen unter den Bürsten. Nun kann der Motor entsprechend den Anweisungen auf Seite 507 angelassen werden. Dabei können sich noch folgende Unregelmäßigkeiten zeigen:

I. Beobachtung:	Beim Anlassen unter Last erwärmt sich der Anlasser übermäßig; auf den letzten Stufen tritt ein großer Stromstoß oder ein Durchbrennen der Sicherung oder Ausschalten des Motorschutzes ein.
Mögl. Ursache:	Der Anlasser ist für die verlangte Anlaufleistung zu klein.
Abhilfe:	Es ist die Anlaufstromstärke zu messen und die Anlauflast zu vermindern oder der Anlasser auszuwechseln.
II. Beobachtung:	Der Motor zeigt zu hohe Erwärmung, oder der Motorschutz bei Vorhandensein eines solchen spricht an.
Mögl. Ursache:	Überlastung.
Abhilfe:	Es ist mittels eines Strommessers die Belastung zu prüfen, die Belastung zu vermindern oder ein größerer Motor einzubauen. Vorher noch einmal nachsehen, ob die Erregung richtig geschaltet ist.
III. Beobachtung:	Die Lager werden zu heiß.
Mögl. Ursache:	1. Zu straff gespannter Riemen. 2. Der Motor ist auf seiner Unterlage verspannt.
Abhilfe:	zu 1. Den Riemen lockern und feststellen, ob die Temperatur der Lager sinkt. zu 2. Den Motor leer ohne Riemen laufen lassen. Wenn die zu hohe Erwärmung anhält, die Fundamentschrauben lockern, nötigenfalls durch Zwischenlagen den Motor ausrichten.

IV. Beobachtung: Der Motor funkt bei Belastung.
Mögl. Ursache: 1. Überlastung.
2. Die Stellung des Bürstenhaltersterns ist falsch.
3. Die Wendepole sind falsch geschaltet.
Abhilfe: zu 1. Prüfung der Belastung mittels Strommessers. Die Belastung vermindern oder einen größeren Motor einbauen.
zu 2. Bei Motoren ohne Wendepole die Bürstenbrille entgegengesetzt der Drehrichtung verschieben, sofern dieselbe nicht feststehend ist. Kleinere Motoren mit Wendepolen haben für beide Drehrichtungen gleiche Bürstenstellung. Bei größeren Motoren mit Wendepolen ist die Bürstenbrücke im Sinne der Drehrichtung zu verschieben.
zu 3. Prüfung der Wendepolschaltung mittels Kompasses nach Bild 27, Seite 494, nötigenfalls sind die Wendepole umzuschalten (Vorsicht).

V. Beobachtung: Der Motor läuft mit falscher Drehrichtung.
Abhilfe: Entsprechend der Schaltung auf Seite 518 das Verbindungsstück umsetzen und die Hauptleitungen vertauschen.

Drehstrommotoren

Man prüfe die verlegten Zuleitungen auf Erdschluß und Nebenschluß (siehe „Isolationsmessungen"). Man schließe Motor und Anlasser nach dem zutreffenden Schaltbild auf Seite 522/523 an. Man stelle den Anlaufstrom fest; er ist bei Käfigläufermotoren der Tafel Seite 485 zu entnehmen und bei Schleifringläufermotoren etwa das 1,3—1,7fache der Nennstromstärke (Käfigläufer). Man wähle die Schmelzsicherung diesem Anlaufstrom entsprechend, überzeuge sich aber, daß die Zuleitung einen dieser Stromstärke entsprechenden Querschnitt hat. Dazu sind die Tafeln Seite 287 zu verwenden. Man überzeuge sich, daß der Motorschutzschalter der Betriebsstromstärke des Motors (vgl. die Angaben auf dem Leistungsschild) entsprechend eingestellt ist. Die Sicherung bildet keinen ausreichenden Schutz des Motors gegen Überlastungen (siehe Seite 506). Man prüfe, ob der Motor richtig in Stern- oder Dreieckschaltung angeschlossen ist (vgl. Seite 489). Bei Schleifringläufermotoren müssen die Bürsten auf den Schleifringen aufliegen und der Anlasser auf „Aus" stehen. Dann wird der Hebelschalter eingelegt. Der Motor muß nun ein sanftes, gleichmäßiges Brummen zeigen. Mit der Prüflampe (bei 380 V zwei in Reihe geschaltete Lampen) ist an den drei Motorklemmen U, V, W festzustellen, ob alle drei Phasen Spannung haben. Bei Schleifringläufern muß an den Klemmen des Anlassers u, v, w (dreiphasiger Läufer, Bild 83, Seite 519) die Prüflampe zwischen je zwei Klemmen gleichmäßig aufleuchten. Bei zweiphasigem Läufer (Bild 82, S. 519) mit den Klemmen u, x/y, v muß die Prüflampe aufleuchten, wenn sie eingeschaltet wird

1. zwischen linker und mittlerer Klemme schwach,
2. zwischen mittlerer und rechter Klemme schwach,
3. zwischen linker und rechter Klemme stärker.

Zeigen sich diese Merkmale nicht, so ist der Fehler aufzusuchen und zu beseitigen. Es wird an einer Leitungsunterbrechung oder falscher Schaltung oder daran liegen, daß die Bürsten auf den Schleifringen nicht gut aufliegen.

Ist alles in Ordnung befunden, so lasse man den Motor entsprechend den Anweisungen auf Seite 508 an. Dabei können sich noch folgende Unregelmäßigkeiten zeigen:

I. Beobachtung: Beim Anlassen unter Last erwärmt sich der Anlasser übermäßig; auf den letzten Stufen tritt ein großer Stromstoß oder ein Durchbrennen der Sicherung oder ein Herausfallen des Motorschutzes ein.
Mögl. Ursache: Der Anlasser ist für die verlangte Anlaufleistung zu klein oder er paßt für den Motor überhaupt nicht, oder der mittlere

Schleifring ist bei zweiphasigem Läufer nicht mit der mittleren Anschlußklemme des Anlassers verbunden.
Abhilfe: Die Anlaufstromstärke messen, den Anlasser richtig wählen oder richtig anschließen. Die Anlauflast vermindern.

II. Beobachtung: Der Motor zeigt zu hohe Erwärmung oder der Motorschutzschalter spricht an.
Mögl. Ursache: Überlastung.
Abhilfe: Mittels des Strommessers die Belastung prüfen, die Belastung vermindern oder einen größeren Motor einbauen.

III. Beobachtung: Die Lager werden zu heiß.
Mögliche Ursache und Abhilfe wie Seite 524/III.

IV. Beobachtung: Große Stromaufnahme bei Leerlauf. Die Ständerwicklung erwärmt sich selbst bei Leerlauf nach kurzer Zeit stark.
Mögl. Ursache: Der Ständer ist für Sternschaltung bestimmt, aber fälschlich in Dreieck geschaltet.
Abhilfe: Die Spannung zwischen den Schleifringen bei Stillstand des Läufers messen. Zeigt dieselbe die etwa 1,7fache Höhe der auf dem Leistungsschild angegebenen Spannung, so ist der Ständer umzuschalten.

V. Beobachtung: Der Motor läuft schwer an. Bei Belastung geht die Drehzahl stark zurück.
Mögl. Ursache: 1. Der Motor ist für Dreieckschaltung bestimmt, der Ständer ist aber in Stern geschaltet.
2. Die Spannung ist zu gering.
Abhilfe: zu 1. Die Schaltung ändern (vgl. Seite 489).
zu 2. Die Spannung am Motor messen und bei zu niedriger Spannung feststellen, ob der Spannungsabfall in der Leitung zu groß ist. Ist dies nicht die Ursache der niedrigen Spannung, so ist das Elektrizitätswerk zu benachrichtigen.

VI. Beobachtung: Der Motor läuft mit falscher Drehrichtung.
Abhilfe: Man vertausche die Anschlüsse der Leitungen U und V miteinander. Bei Sterndreieckschaltung vertausche man zwei Zuleitungsdrähte am Schalter.

VII. Beobachtung: Der Motor mit Käfigläufer läuft auf der Sternstufe des Sterndreieckschalters nicht an, sondern erst auf der Dreieckstellung.
Mögl. Ursache: Kontaktunterbrechung im Sterndreieckschalter, oder das Drehmoment des Motors auf der Sternstufe reicht für den Anlauf der Arbeitsmaschine nicht aus.
Abhilfe: Wenn der Fehler nicht im Sterndreieckschalter liegt und der Anlaufstrom auf der Dreieckstufe nicht zulässig ist, die Anlaufbelastung vermindern, eine Anlaufriemenscheibe, einen größeren Motor oder einen Schleifringläufermotor verwenden (siehe Seite 486).

XII. Anleitung zur Beseitigung von Störungen an Elektromotoren, welche bis zum Eintritt der Störung normales Verhalten zeigten

Gleichstrommotoren

I. Beobachtung: Der Motor läuft nicht an.
Mögl. Ursache: 1. Unterbrechung in der Zuleitung, z. B. eine Sicherung ist durchgebrannt oder der Motorschutz hat angesprochen.

2. Der Anlasser ist durchgebrannt.
3. Die Bürsten sind infolge Verschmutzung in den Haltern festgeklemmt und berühren den Kollektor nicht.

Abhilfe: zu 1. Nachprüfen der Sicherungen und Ersatz der durchgebrannten. Prüfen des Motorschutzes auf richtige Einstellung (siehe Seite 405). Die Bürsten vom Kommutator entfernen und den Anlasser einschalten. Mittels Prüflampe prüfen, ob an den Klemmen des Motors die volle Spannung vorhanden, gegebenenfalls die Leitungsunterbrechung beseitigen.

zu 2. Mittels Galvanoskop oder Prüflampe messen, ob der Anlasser Unterbrechung hat, nötigenfalls den Anlasser auswechseln.

zu 3. Die Bürstenhalter säubern, so daß die Bürsten sich leicht bewegen und den Kommutator berühren.

II. Beobachtung: Der Motor läuft mit Stoß an, wenn der Anlasser z. T. eingeschaltet ist. Die Kontaktbahn ist an dieser Stelle angeschmort.

Mögl. Ursache: Der Anlasser hat an der gekennzeichneten Stelle Unterbrechung.

Abhilfe: Prüfung des Anlassers mittels Galvanoskop oder Prüflampe. Nötigenfalls den Anlasser auswechseln oder die Unterbrechungsstelle überbrücken.

III. Beobachtung: Der Motor läuft schwer an. Der Anlasser wird heiß, und die Sicherungen brennen durch, oder der Motorschutz spricht an.

Mögl. Ursache:
1. Die Leitungen zwischen Anlasser und Motor haben untereinander Schluß oder Erdschluß.
2. Der Motor hat Körperschluß.
3. Der Magnetstromkreis hat Unterbrechung.
4. Die Bürstenbrücke hat eine falsche Stellung.

Abhilfe: zu 1. Die Leitungen vom Klemmbrett lösen, gegeneinander und gegen Erde prüfen (siehe Isolationsmessung) und den Schluß beseitigen.

zu 2. Die Leitungen vom Klemmbrett lösen. Die Bürsten vom Kommutator entfernen, dann mittels Galvanoskop oder Prüflampe die Magnete, den Anker und die Bürstenbolzen gegen Eisen prüfen. Zeigt sich ein Körperschluß, so ist eine Instandsetzung des Motors nötig.

zu 3. Zwischen Bürsten und Kommutator Papier schieben, dann den Anlasser einschalten. Mittels eines Stückes Eisen prüfen, ob die Pole magnetisch sind. Weiteres siehe unter Inbetriebsetzung Seite 525/IV.

zu 4. Die Bürstenbrille auf die Marke einstellen. Ist letztere nicht vorhanden, durch Hin- und Herschieben der Bürsten die richtige Stellung ermitteln. Liegt die Ableitung der Ankerwicklung zum Kommutator außen, so findet man die richtige Bürstenstellung (neutrale Zone) wie folgt:
Man verfolgt die Ableitung derjenigen Spule, die zwischen zwei Hauptpolen steht, und stellt die Bürsten auf die Kommutator-Lamelle, in die diese eingelötet ist. Zur leichteren Auffindung wird im allgemeinen eine Schablonenspule „rot" lackiert.

IV. Beobachtung: Der Motor funkt bei Belastung. Der Kommutator wird an der ganzen Oberfläche schwarz.

Mögl. Ursache:
1. Vorstehende Lamellenisolation.
2. Ungeeignetes Bürstenmaterial.
3. Unrunder Kommutator.
4. Ausgelaufene Lager bei Gleitlagern oder Beschädigungen im Kugellager.
5. Einzelne Bürstenhalter haben sich gelöst, so daß die Bürsten den Kommutator in ungleichen Abständen berühren.
6. Der Motor ist starken Erschütterungen ausgesetzt.
7. Eine oder mehrere Magnetspulen haben Windungsschluß.

Abhilfe:

zu 1. Vorstehende Lamellenisolation ist durch Abfühlen des Kommutators festzustellen. Nötigenfalls ist durch kräftiges Abschmirgeln mit scharfem Karborundumleinen der vorstehende Glimmer zu beseitigen und mittels eines spitz geschliffenen Stahles auszukratzen.

zu 2. Die verwendeten Kohlenbürsten können zu hart oder zu weich sein; passende Ersatzkohlen vom Erbauer des Motors beziehen.

zu 3. Den Kommutator überdrehen.

zu 4. Prüfung der Lager. Feststellen, ob die Welle im Lager in senkrechter oder in Richtung des Riemenzuges Spielraum hat. An der Kommutatorseite durch Anheben mittels eines Eisens oder Schraubenziehers feststellen, ob die Welle Spielraum hat, zutreffendenfalls sind bei Gleitlagern die Lagerschalen, bei Kugellagern diese selbst auszuwechseln.

zu 5. Prüfen, ob die aufliegenden Kohlenbürsten den Kommutator in gleiche Abschnitte teilen; wenn nicht, sind die Kohlenbürsten zu versetzen.

zu 6. Prüfen, ob alle Fundamentschrauben fest angezogen sind. Ob der Motor ohne Riemen ruhig läuft. Auf eine richtige Verbindung der Riemenstoßstelle achten.

zu 7. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Magnetspulen freilegen. Die Magnete einschalten und die Spannung der einzelnen Spulen messen. Abweichungen sollen nicht mehr als 10% betragen; die fehlerhafte Spule ist (das ist die mit zu geringer Spannung) auszuwechseln. Bei in Reihe geschalteten Magnetspulen sind alle auszuwechseln.

V. Beobachtung: Einzelne Bürsten funken stark und erhitzen sich, wogegen andere kalt bleiben.

Mögl. Ursache: Auf den untereinander verbundenen Bürstenbolzen befinden sich verschiedene Kohlensorten.

Abhilfe: Die Bürsten prüfen. Bürsten verschiedener Marken austauschen und durch solche gleicher Marke ersetzen.

VI. Beobachtung: Der Motor funkt sehr stark, an einzelnen Lamellen brennt die Isolation aus.

Mögl. Ursache: Unterbrechung in der Ankerwicklung.

Abhilfe: Feststellen, ob eine Verbindung zwischen Kommutator und Wicklung ausgelötet oder ob ein Ankerdraht hinter der Kommutatorfahne abgebrochen ist. Vor Beseitigung der Unterbrechung prüfen, ob die Lamellen, zwischen denen die Isolation durchgebrannt ist, keine Verbindung haben. Ist am Kommutator eine Unterbrechungsstelle nicht zu ermitteln, so liegt dieselbe in der Wicklung.

VII. Beobachtung: Der Motor funkt, der Kommutator wird stellenweise schwarz.
Mögl. Ursache: 1. Schlechter Kontakt zwischen der Wicklung und den Lamellen bzw. deren Fahnen.
2. Schlechter Kontakt zwischen den Lamellen und den Fahnen.
3. Bei solchen Kommutatoren, an denen die Ankerdrähte verschraubt sind, können sich die Schrauben gelockert haben.
Abhilfe: zu 1. Mit einem spitzen Eisen ist festzustellen, ob an den fraglichen Stellen die Ankerdrähte sich in den Fahnen bewegen lassen; wenn ja, läßt man sie einlöten.
zu 2. Durch leichten Schlag gegen die Fahnen prüfen, ob sie sich in den Lamellen bewegen; wenn ja, ist eine Instandsetzung des Ankers nötig.
zu 3. Prüfen, ob sich die Schrauben nachziehen lassen; wenn ja, die Schrauben anziehen.

VIII. Beobachtung: Der Motor hat zu hohe Stromaufnahme. Einzelne Ankerspulen erhitzen sich nach kurzer Zeit.
Mögl. Ursache: Überbrückung der Spulen am Kommutator.
Abhilfe: Feststellen, ob eine äußere Überbrückung vorliegt. Wenn nicht, ist die Lamellenisolation schadhaft. Instandsetzung ist nötig.

IX. Beobachtung: Der Motor läuft bei großer Stromaufnahme ruckweise an.
Mögl. Ursache: Die Ankerspulen haben gegeneinander Schluß.
Abhilfe: Die Bürsten abheben. Den Anlasser einschalten, so daß die Magnete voll erregt sind. Den Anker mit der Hand drehen. Bei einem Wicklungsschluß ist der Anker an zwei Punkten sehr schwer zu bewegen. Instandsetzung unerläßlich.

X. Beobachtung: Der Anker zeigt im ganzen zu hohe Erwärmung.
Mögl. Ursache: Überlastung.
Abhilfe: Mittels Strommesser die Belastung prüfen. Die Überlastungsursache bei den angetriebenen Maschinen ermitteln und beseitigen.

Drehstrommotoren.

I. Beobachtung: Der Motor läuft nicht an.
Mögl. Ursache: 1. Unterbrechung in der Zuleitung, z. B. eine oder mehrere Sicherungen sind durchgebrannt oder der Motorschutzschalter hat angesprochen.
2. Unterbrechung im Läuferstromkreis.
3. Unterbrechung im Ständerstromkreis, z. B. im Sterndreieckschalter (bei Käfigläufern).
Abhilfe: zu 1. Nachprüfen der Sicherungen und gegebenenfalls Ersatz der durchgebrannten. Prüfen des Motorschutzes auf richtige Einstellung (siehe Seite 405).
zu 2. Messung der Spannung mittels Spannungsmessers oder Prüflampe am Klemmbrett des Motors und am Schalter Weiteres siehe Inbetriebsetzung Seite 526/V.
zu 2. Nachspannen der Bürsten, Prüfung der Leitung zwischen Anlasser und Klemmbrett. Untersuchung, ob die Schleiffedern am Anlasser guten Kontakt geben, ferner ob die Widerstände Unterbrechung haben. Beseitigung einer etwaigen Unterbrechung. Bei Unterbrechung im Motor ist eine Instandsetzung nötig.

zu 3. Nach Lösung der Zuleitung und der Schaltverbindung am Klemmbrett die einzelnen Phasen mittels Galvanoskop prüfen. Bei Unterbrechung im Motor ist eine Instandsetzung nötig.

II. Beobachtung: Der Motor läuft mit Stoß an, wenn der Anlasser zum Teil eingeschaltet ist. Die Kontaktbahn ist an dieser Stelle angeschmort.

Mögl. Ursache: Der Anlasser hat an der gekennzeichneten Stelle Unterbrechung.

Abhilfe: Prüfung des Anlassers mittels Galvanoskop oder Prüflampe. Erforderlichenfalls den Anlasser auswechseln oder die Unterbrechungsstelle überbrücken.

III. Beobachtung: Der Motor läuft schwer an, die Drehzahl fällt bei Belastung stark ab.

Mögl. Ursache: Unterbrechung in einer Phase des Läuferstromkreises.

Abhilfe: Mittels Prüflampe feststellen, ob alle drei Schleifringe Spannung haben. Erforderlichenfalls Nachspannen der Bürsten, Prüfung der Leitung zwischen Anlasser und Klemmbrett. Untersuchen, ob die Schleiffedern am Anlasser guten Kontakt geben, ferner, ob die Widerstände Unterbrechung haben. Die Unterbrechung gegebenenfalls beseitigen, sonst siehe II.

IV. Beobachtung: Der Motor läuft schwer an, brummt stark beim Anlauf und erhitzt sich schnell, oder der Motorschutz spricht an.

Mögl. Ursache: Ausgelaufene Gleitlager oder ein Bruch im Kugellager. Der Läufer streift am Ständer.

Abhilfe: Prüfung der Lager. Feststellen, ob die Welle im Lager in senkrechter oder in Richtung des Riemenzuges Spielraum hat. An der Schleifringseite durch Anheben mittels eines Eisens oder Schraubenziehers feststellen, ob die Welle Spielraum hat, zutreffendenfalls sind bei Gleitlagern die Lagerschalen, bei Kugellagern diese selbst auszuwechseln.

V. Beobachtung: Beim Einschalten des Schalters brennen eine oder mehrere Sicherungen durch oder der Motorschutzschalter spricht sofort an.

Mögl. Ursache:
1. Die Leitungen vom Schalter zum Ständer haben Schluß miteinander.
2. Die Leitungen vom Motor zum Anlasser haben untereinander Schluß, vielleicht auch zwei Bürstenhalter gegeneinander.
3. Zwei Phasen der Ständerwicklung haben Schluß miteinander bzw. Schluß mit Eisen.
4. Die Schleifringe haben gegeneinander Schluß bzw. der Läufer hat Schluß in der Wicklung.

Abhilfe:
zu 1. Die Zuleitung vom Motor-Klemmbrett lösen, die Zuleitungen gegeneinander prüfen. Einen etwa vorhandenen Isolationsfehler beseitigen.

zu 2. Den Anlasser abklemmen. Die Bürsten durch Zwischenlegen von Papier oder Holz von den Schleifringen abheben, dann die Anlasser-Leitungen gegeneinander prüfen. Einen Isolationsfehler beseitigen.

zu 3. Die Zuleitungen vom Motor-Klemmbrett lösen. Die Schaltstücke am Klemmbrett entfernen. Dann die einzelnen Phasen gegeneinander und gegen Eisen prüfen. Ein Schluß im Motor kann nur durch Instandsetzung beseitigt werden.

zu 4. Die Bürsten von den Schleifringen abheben. Den Riemen von der Scheibe entfernen. Den Ständer einschalten. Der Motor läuft alsdann leer an. Meist nur durch Instandsetzung des Motors zu beheben.

VI. Beobachtung: Der Motor brummt sehr stark bei großer Stromaufnahme.
Mögl. Ursache: Eine Phase der Ständerwicklung hat Windungsschluß.
Abhilfe: Durch Anfühlen der Wicklung feststellen, ob eine ungleiche Erwärmung der Wicklung vorhanden. Die kurzgeschlossenen Windungen erhitzen sich nach kurzer Zeit sehr stark. Neuwicklung des Motors erforderlich.

VII. Beobachtung: Der Zeiger des in der Zuleitung des Motors eingebauten Strommessers pendelt bei gleichbleibender Belastung stark hin und her.
Mögl. Ursache: Schlechter Kontakt im Läuferstromkreis.
Abhilfe: Alle Anschlußschrauben gut anziehen. Prüfen, ob die Schleiffedern am Anlasser guten Kontakt geben. Bei Bürsten-Abhebevorrichtungen die Verbindung zwischen den Kurzschlußfedern und dem Kurzschlußring prüfen und sorgfältig wieder herstellen.

VIII. Beobachtung: Zu hohe Erwärmung des Motors oder Ansprechen des Motorschutzes.
Mögl. Ursache: Überlastung.
Abhilfe: Mittels des Strommessers die Belastung prüfen. Bei Überlastung die angetriebene Maschine prüfen. Den Grund der Überlastung beseitigen.

Außerdem können an Drehstrommotoren mit Käfigläufer folgende Fehler auftreten:
IX. Beobachtung: Beim Anlassen mit Sterndreieckschalter läuft der Motor in der Anlaufschaltung nicht an.
Mögl. Ursache und Abhilfe (siehe Seite 526, VII).

X. Beobachtung: Wird der Sterndreieckschalter auf „Betrieb" geschaltet, so läuft der Motor zwar an, läßt aber bei Belastung stark in der Drehzahl nach.
Mögl. Ursache: 1 Läuferstäbe sind ausgelötet.
2. Zu große Belastung.
Abhilfe: zu 1. Eine Besichtigung des Motors zeigt fortgespritzte Zinnteilchen. Instandsetzung erforderlich.
zu 2. Die Belastung durch den Strommesser prüfen. Gegebenenfalls ist die Belastung zu vermindern oder ein größerer Motor einzubauen.

XIII. Riemen.

Lederriemen, aus Ochsenhäuten gewonnen, sind die verbreitetsten Übertragungsmittel.

Das Mittelstück der Haut von etwa 1500 mm Breite und Länge ist für Riemen verwendbar. Die Mittelbahn von 200 mm Breite hat eine Stärke von 4—5 mm und eignet sich am besten für Triebe, an die hohe Anforderungen gestellt werden, während nach den Seiten zu zwar die Stärke bis auf 8—9 mm zunimmt, ohne daß diese Teile aber die Leistungsfähigkeit des Mittelstreifens erreichen.

Die Riemen müssen mehrfach naß und trocken gestreckt werden und sollen biegsam und geschmeidig sein, sie müssen schnurgerade laufen.

Durchm. der kleinen Riemenscheibe in mm	Die von je 1 cm Riemenbreite zu übertragende Leistung in PS bei offenen Riementrieben																		
	Drehzahl in der Minute																		
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
50								0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16
63						0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
80					0,08	0,10	0,12	0,12	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,30
90					0,10	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35
100				0,08	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,37	0,40
112			0,08	0,10	0,14	0,16	0,18	0,20	0,23	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34	0,36	0,39	0,42	0,44	0,49
125			0,09	0,12	0,16	0,19	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58
140		0,09	0,12	0,15	0,18	0,22	0,27	0,29	0,33	0,37	0,40	0,46	0,47	0,52	0,57	0,60	0,64	0,68	0,73
160	0,08	0,10	0,15	0,18	0,22	0,28	0,33	0,38	0,42	0,48	0,53	0,58	0,62	0,69	0,74	0,78	0,84	0,91	0,98
180	0,09	0,12	0,17	0,21	0,27	0,34	0,41	0,48	0,52	0,60	0,67	0,74	0,80	0,88	0,95	1,02	1,10	1,18	1,26
200	0,10	0,15	0,20	0,25	0,33	0,41	0,49	0,58	0,66	0,75	0,83	0,92	1,01	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60
225	0,12	0,18	0,24	0,31	0,40	0,50	0,60	0,70	0,81	0,92	1,03	1,14	1,27	1,40	1,55	1,70	1,85	2,00	
250	0,14	0,21	0,30	0,38	0,50	0,62	0,75	0,88	1,00	1,13	1,29	1,45	1,62	1,80	1,99	2,20			
280	0,16	0,27	0,37	0,48	0,63	0,78	0,97	1,14	1,32	1,49	1,68	1,87	2,05	2,28	2,70				
320	0,20	0,34	0,48	0,63	0,82	1,03	1,25	1,49	1,74	1,97	2,23	2,46	2,69						
360	0,26	0,44	0,62	0,80	1,06	1,26	1,55	1,86	2,16	2,48	2,80	3,29							
400	0,33	0,55	0,77	1,00	1,28	1,58	1,88	2,25	2,63	3,00	3,38								
450	0,42	0,68	0,95	1,25	1,55	1,89	2,30	2,73	3,20	3,70									
500	0,50	0,83	1,15	1,50	1,86	2,30	2,75	3,30	3,93										
560	0,58	0,97	1,36	1,78	2,25	2,78	3,36	4,06											

Tafel 7. Einfachriemen bei offenen Riementrieben.

Einfache Riemen können bis 600 mm Breite verwendet werden und sind wegen ihrer größeren Biegsamkeit stets vorzuziehen.

Doppelriemen, aus verschieden gelagerten Wirbelbahnen angefertigt, übertragen etwa das 1,4- bis 1,7fache eines gleichbreiten Einfachriemens. Da sie weniger biegsam sind, kommen sie erst bei einem Scheibendurchmesser von mindestens 500 mm in Frage. Die Breite des Doppelriemens ist beliebig (bis etwa 1500 mm).

Für die Berechnung der Riemenbreite kann, normale Verhältnisse vorausgesetzt, die nebenstehende Tafel 7 (Seite 532) angewendet werden, jedoch sollte jeder Antrieb sorgfältig für sich behandelt werden. Man hole daher in abnormalen und schwierigen Fällen Vorschläge vom Riemenhersteller unter Bekanntgabe der Antriebsverhältnisse ein. Bei senkrechten Trieben, bei stoßweiser Belastung, kleinem Wellenabstand sind die Riemen entsprechend breiter zu wählen.

Riemenverbindungen.

Die beste und zweckmäßigste Verbindung der einzelnen Riemenenden untereinander ist das Verleimen. Hierzu werden die beiden Enden auf 15 bis 20 cm gut abgeschrägt und aufgerauht. Man verwende einen dünnflüssigen Leim bester Sorte. Vor dem Auftragen des Leimes sind die schrägen Stoßflächen zweckmäßig durch darübergelegte mäßig erwärmte Holzbretter, die durch Schraubenzwingen festgehalten werden, vorzuwärmen. Nach dem Abnehmen der Bretter werden die schrägen Flächen rasch mit heißem Leim bestrichen und die Holzbretter wieder angepreßt. In warmen Räumen trocknet die Leimstelle in etwa 3 bis 4 Stunden. Man achte darauf, daß die Leimstelle nicht dicker wird als der Riemen selbst und das Auflaufen auf die Scheibe ohne Stoß erfolgt.

Behandlung und Pflege des Riemens.

Beim Gleiten des Riemens vermeide man die Anwendung des Kolophoniums sowie aller harzigen Stoffe, sondern trage etwas Lederfett aus 1 Teil heißem Talg und 3 Teilen Tran- oder Rizinusöl auf die Innenseite des Riemens auf. Zur Unterhaltung und Pflege reinige man den Riemen von Zeit zu Zeit, jedoch mindestens einmal jährlich mit warmem Wasser und etwas Sodazusatz mittels einer Bürste. Nach dem Trocknen wird der Riemen beiderseits eingefettet.

XIV. Riementriebe.

Allgemeines.

Die Riemengeschwindigkeit wähle man so hoch wie möglich, für normale Triebe etwa bis 26 m/s. Bei den Elektromotoren ist sie in der Regel durch die normalen Riemenscheibendurchmesser festgelegt. Bei einer bestimmten zu übertragenden Leistung ergeben hohe Riemengeschwindigkeiten kleinere Zugkräfte, also leichtere Riemen.

Da die durch einen Riemen zu übertragende Zugkraft von dem vom Riemen auf der kleineren Scheibe umspannten Bogen abhängt, ist man in der Wahl des Übersetzungsverhältnisses, d. i. das Verhältnis der größeren zur kleineren Drehzahl, beschränkt. Der umspannte Bogen wird ungünstig beeinflußt bei geringem Achsabstand, wenn das obere Trum ziehend ist, und beim senkrechten Trieb.

Offene Riementriebe.

Bei offenem Riementrieb geht man im allgemeinen über das Verhältnis 1 : 5 nicht hinaus. Bei Spannrollentrieben, bei denen durch die an der kleineren Scheibe angeordnete Spannrolle der umspannte Bogen vergrößert wird, lassen sich Übersetzungen 1 : 10 bis 1 : 15 und mehr erreichen.

Muß das Übersetzungsverhältnis genau eingehalten werden, so ist der Riemenschlupf zu berücksichtigen, der durch das laufende Spannen im ziehenden und Entspannen im ablaufenden Trum entsteht (nicht zu verwechseln mit dem Gleiten

eines Riemens). Der Schlupf beträgt 1—5%. Bei normal beanspruchten Riemen und nicht zu hohen Übersetzungen sowie bei Spannrollentrieben gelten die kleineren Werte.

Der Riemen muß stets mit Vorspannung aufgelegt werden oder durch Verschieben des Motors auf den Spannschienen oder bei Senkrechttrieben durch Anordnung des Motors auf einer Wippe gespannt werden, jedoch nicht mehr als zur Übertragung der Leistung und zur Vermeidung des Rutschens nötig ist, da sich sonst eine erhöhte Lagerbelastung (heiße Lager) ergibt. Aus diesem Grunde dürfen die in der Liste angegebenen kleinstzulässigen Scheibendurchmesser der Motoren nicht unterschritten werden (Ausnahmen gelten bei Spannrollentrieben, siehe unten). Die Vorspannkraft beträgt beim offenen Flachriemen (ohne Spannrolle) etwa das Dreifache der zu übertragenden Umfangskraft P (vgl. Seite 468).

Die Berechnung der Riemenscheibendurchmesser erfolgt nach der Formel:

$$D = \frac{d \cdot n_2}{n_1}$$ worin bedeutet:

D = Durchmesser der größeren (langsamer laufenden) Scheibe.
n_1 = Drehzahl der größeren (langsamer laufenden) Scheibe.
d = Durchmesser der kleineren (schneller laufenden) Scheibe.
n_2 = Drehzahl der kleineren (schneller laufenden) Scheibe.

Zur Berücksichtigung des Riemenschlupfes ist bei der Errechnung des Durchmessers
einer getriebenen Scheibe ein Abzug,
einer treibenden Scheibe ein Zuschlag
zu dem errechneten Durchmesser zu machen.

Ergibt sich bei dem gewählten Übersetzungsverhältnis und festliegendem Durchmesser der großen Scheibe eine unzulässig kleine Scheibe am Motor, so ist zur Verminderung der Übersetzung entweder ein Motor mit geringerer Drehzahl zu wählen oder ein Zwischenvorgelege vorzusehen. Eine Verkleinerung des Durchmessers der kleinen Scheibe ist bei Spannrollentrieb zulässig (siehe unten).

Der Achsabstand richtet sich nach der Breite und Geschwindigkeit des Riemens. Bei Riemen bis 100 mm Breite wähle man ihn mit etwa 5 m, für breitere Riemen entsprechend größer. Bei kleinen Scheibendurchmessern, z. B. bei den Vorgelegen von Arbeitsmaschinen, geht man bis auf 1,5 m herunter, ebenso sind geringe Achsabstände bei Spannrollentrieben zulässig. Auch Keilriemen kommen in solchen Fällen in Frage (siehe unten).

Bei offenen Trieben sind möglichst beide Achsen in gleiche Höhe zu setzen; das untere Trum soll treiben. Treibt der Riemen schräg nach unten, so muß ganz besonderer Wert darauf gelegt werden, daß das untere Trum zieht. Die Anordnung „beide Wellen untereinander" soll möglichst vermieden werden, vor allem, wenn die kleinere, treibende Scheibe unterhalb der größeren, getriebenen sich befindet. Lassen sich örtlicher Umstände wegen derartige ungünstige Anordnungen nicht umgehen, so soll der Riementrieb durch Anwendung einer Spannrolle verbessert werden.

Spannrollentriebe.

Die Vorteile der Riemenspannrolle liegen in der Vergrößerung des vom Riemen umspannten Bogens, besonders auf der kleinen Scheibe und damit auch in der Möglichkeit einer größeren Übersetzung. Die abgegebene Leistung wird sicher übertragen, ohne daß infolge zu großer Riemenspannung die Lager übermäßig beansprucht werden. Die infolge des größeren umschlungenen Bogen geringere Riemenvorspannung gestattet, die je cm Riemenbreite übertragene Leistung höher zu wählen (siehe Tafel 8, Seite 536). Die Riemenspannung kann durch Einstellung der Spannrolle in einfacher Weise verändert werden. Das im Betrieb auftretende Längen des Riemens wird in gewissem Grade ausgeglichen. Diese Vorteile empfehlen die Anwendung der Spannrolle auch dort, wo der offene Trieb benutzt werden könnte.

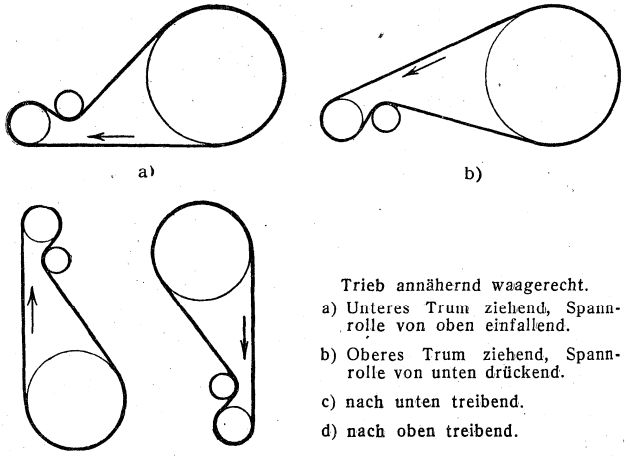
Die geringere Riemenspannung gestattet gegenüber den für normale Triebe als kleinstzulässig angegebenen Motorscheiben-Durchmessern eine Verminderung um 20—30%, also unter Umständen die Verwendung rascher laufender Motoren.

Spannrollen ermöglichen die Verminderung des Achsenabstandes unter Umständen bis auf den Durchmesser der großen Riemenscheibe, sie erlauben eine Vergrößerung des Übersetzungsverhältnisses bis etwa 1 : 20.

Anordnung der Spannrollen.

Die Spannrolle wird in dem losen Trum unmittelbar vor der kleinen Scheibe des Triebes angeordnet (Bild 84) und entweder durch einen Gewichtshebel (Bild 85) oder besser durch eine Feder gespannt (Bild 86).

Die einarmige Bauart ist wegen des bequemen Auflegens und Abnehmens des Riemens vorzuziehen. Für sehr breite Riemen ist eine doppelarmige Ausführung geboten.



Trieb annähernd waagerecht.
a) Unteres Trum ziehend, Spannrolle von oben einfallend.
b) Oberes Trum ziehend, Spannrolle von unten drückend.
c) nach unten treibend.
d) nach oben treibend.

Bild 84. Anordnung von Spannrollen.

Bei der in Bild 86, S. 537, dargestellten Anordnung wird die in Kugellagern laufende Rolle in einem Bügel gehalten, der durch Schrauben am Schildlager befestigt ist und mittels einer Schraubenfeder die Rolle an den Riemen andrückt. Da der Flansch des Schildlagers rings mit Befestigungslöchern versehen ist, kann die Rolle in verschiedenen Stellungen angebracht werden.

Für Antriebe von Generatoren und Motoren mit drei Lagern können die Spannrollenarme auf Drehzapfen an den beiden Lagern beiderseits der Riemenscheibe angeordnet werden, wobei eine genaue Bewegung der Spannrolle zu der Wellenmitte der Generator- oder Motorscheibe erreicht wird.

Bei Antrieben mit stoßweiser Belastung sind zur Beruhigung der Bewegungen der Spannrolle Schwingungsdämpfer anzuordnen, welche die bei plötzlichen Belastungsschwankungen auftretenden Schwingungen des Riemens und der Spannrolle aufnehmen und mildern (Bild 87, S. 538). Sie dienen auch als Sicherheitsvorkehrung, indem sie ein Emporschnellen der Spannrolle bzw. ein Herabfallen bei Reißen des Riemens verhindern.

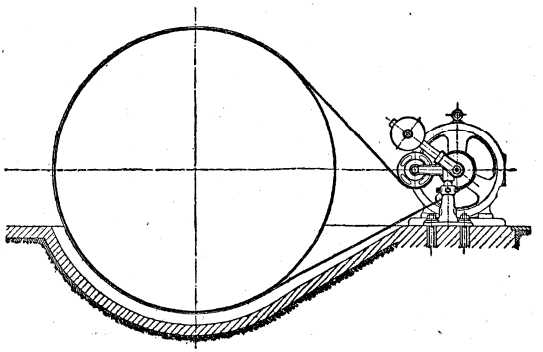


Bild 85. Verbesserung eines ungünstigen Riementriebes durch eine Spannrolle.

Tafel 8. Einfachriemen bei Spannrollentrieben.

Durchm. der kleinen Riemenscheibe in mm	Die von je 1 cm Riemenbreite zu übertragende Leistung in PS bei Spannrollentrieben																		
	Drehzahl in der Minute																		
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
80					0,11	0,14	0,17	0,18	0,19	0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,36	0,39	0,42	0,45	0,49
90				0,11	0,14	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,34	0,37	0,42	0,45	0,49	0,53	0,57
100			0,10	0,14	0,17	0,20	0,22	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40	0,43	0,48	0,52	0,57	0,61	0,65
112			0,13	0,16	0,20	0,23	0,26	0,30	0,32	0,37	0,41	0,44	0,48	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,79
125			0,16	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59	0,64	0,70	0,76	0,83	0,90	0,97
140		0,16	0,20	0,24	0,27	0,31	0,36	0,42	0,46	0,54	0,61	0,66	0,73	0,79	0,85	0,95	1,04	1,11	1,22
160		0,18	0,24	0,28	0,32	0,39	0,46	0,53	0,59	0,68	0,76	0,89	0,96	1,04	1,11	1,24	1,36	1,44	1,58
180	0,16	0,22	0,28	0,34	0,39	0,48	0,57	0,66	0,75	0,86	0,97	1,09	1,19	1,31	1,43	1,55	1,69	1,82	1,98
200	0,20	0,25	0,32	0,40	0,48	0,58	0,68	0,80	0,94	1,06	1,20	1,34	1,48	1,62	1,78	1,93	2,08	2,26	2,42
225	0,22	0,29	0,36	0,46	0,56	0,66	0,81	0,96	1,10	1,26	1,42	1,60	1,78	1,96	2,16	2,36	2,55	2,74	2,95
250	0,26	0,36	0,46	0,58	0,72	0,84	1,02	1,20	1,38	1,56	1,75	1,96	2,17	2,38	2,60	2,83	3,06	3,30	3,52
280	0,31	0,44	0,58	0,76	0,93	1,12	1,31	1,50	1,71	1,96	2,20	2,48	2,68	2,93	3,18	3,43	3,72	3,96	
320	0,38	0,54	0,74	0,96	1,16	1,40	1,66	1,93	2,20	2,56	2,83	3,20	3,49	3,72	3,97	4,31			
360	0,44	0,64	0,88	1,11	1,40	1,67	2,02	2,38	2,78	3,17	3,53	3,94	4,31	4,51					
400	0,52	0,76	1,05	1,32	1,70	2,05	2,45	2,95	3,40	3,80	4,20	4,65	5,10						
450	0,70	0,95	1,30	1,68	2,10	2,55	3,05	3,50	4,00	4,55	5,05								
500	0,90	1,20	1,55	2,00	2,55	3,15	3,70	4,25	4,85	5,40									
560	0,95	1,38	1,79	2,34	3,02	3,67	4,35	4,96	5,52										

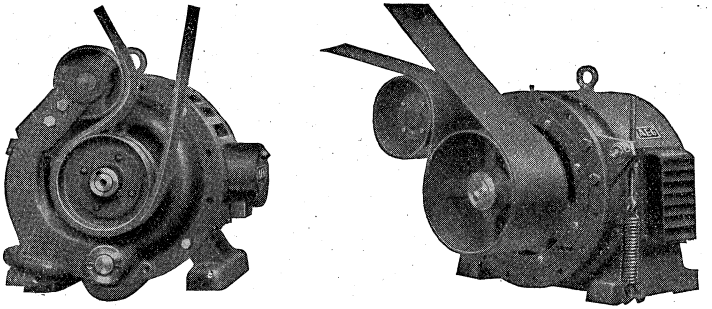


Bild 86. Motoren mit angebauten Spannrollen.

Keilriementriebe.

Wenn bei Spannrollentrieben die Anwendung kleiner Achsabstände durch Vergrößerung des umspannten Bogens erreicht wird, so ist sie bei Verwendung von Keilriemen durch die größere Haftkraft des Riemens in der Rille möglich, die um etwa den dreifachen Betrag größer ist als beim Flachriemen. Infolge der hohen Durchzugskraft ergeben sich folgende Vorteile:

Es ist keine Vorspannung erforderlich, wodurch sich Schonung der Lager und geringe Beanspruchung der Wellen ergibt.

Der Schlupf ist sehr gering, da der Riemen ohne jede Spannung im losen Trum durchzieht.

Infolge kürzesten Achsenabstandes und kleinsten Scheibendurchmessers ergibt sich geringster Raumbedarf. Der Achsenabstand sei annähernd gleich dem Durchmesser der größeren Scheibe. Zu große Achsabstände ergeben eine Verteuerung und ungünstigeren Riemenlauf und kürzere Lebensdauer.

Keilriemen laufen geräuschlos und sind unempfindlich gegen Feuchtigkeit; sie bestehen aus einem Zugstrang aus Cordfäden, der zur Vergrößerung der Riemenhöhe eine Gummiunterlage hat. Das Ganze ist mit einem Gewebe als äußere Tragschicht umhüllt. Sie werden am besten endlos hergestellt, und zwar mit verschiedenen Querschnitten, so daß sich eine gute Anpassung an den Kraftbedarf erreichen läßt, um so mehr als mehrere Riemen gleichen Profils auf derselben Scheibe verwendet werden können.

Profile, Nenndurchmesser und Leistungen siehe nachstehende Tafeln.

Tafel 9.

Keilriemenprofile und deren Leistungen sowie zugehörige Nenndurchmesser der Scheiben.

(Nach Angaben von Lohmann & Stolterfoth A. G., Witten-Ruhr).

Keilriemenprofil Breite × Höhe mm	Keilriemenscheiben-Durchmesser Nenndurchmesser normale mm	Nenndurchmesser kleinstzulässige mm	Leistung eines Keilriemens in PS etwa	Höchste Umfangskraft in kg etwa
10 × 7	68—97	55—67	0,75	8
13 × 9	86—120	66—85	1,5	15
17 × 11	114—153	90—113	3	25
22 × 16	200—253	160—199	8	45
25 × 16	275—363	184—274	10	50
42 × 20	300—379	260—299	14	85
38 × 25	455—524	374—454	20	105

Die kleinstzulässigen Durchmesser sollen nur in Fällen äußerster Raumbeschränkung gewählt werden, und wenn bei stoßfreiem Anlauf gleichmäßige Belastungen zu erwarten sind.

Bei Übersetzungen 1 : 1 und etwa 1 : 7 und höher sind die normalen Nenndurchmesser nicht zu unterschreiten.

Die Leistungsangaben sind nur Anhaltspunkte, während bestimmte Angaben der nachstehenden Tafel zu entnehmen sind.

Tafel 10.

Übertragungsmöglichkeit in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Keilriemens.

Riemengeschwindigkeit v in m/s	Keilriemenprofil						
	Maximale Übertragungsmöglichkeit in PS/Riemen						
	10×7	13×9	17×11	22×16	25×16	32×20	38×25
10	1,02	1,97	2,95	5,4	6,9	11,1	16,0
11	1,10	2,15	3,20	5,9	7,5	12,0	17,0
12	1,18	2,28	3,38	6,3	8,0	12,9	18,2
13	1,25	2,40	3,55	6,8	8,5	13,8	19,5
14	1,31	2,52	3,73	7,2	8,9	14,5	20,8
15	1,37	2,64	3,90	7,5	9,2	15,2	21,9
16	1,41	2,74	4,04	7,9	9,6	15,8	23,0
17	1,45	2,82	4,16	8,2	9,9	16,3	24,0
18	1,49	2,90	4,24	8,5	10,2	16,7	24,5
19	1,53	2,96	4,30	8,7	10,4	17,0	25,0
20	1,56	3,00	4,35	8,8	10,6	17,3	25,5
25	1,48	2,90	4,30	8,5	10,3	16,9	24,6
30	1,20	2,60	3,60	6,8	—	—	—

Die Werte gelten für gleichmäßigen, stoßfreien Betrieb und einen Umschlingungswinkel auf der Riemenscheibe von 180°.

Da der Winkel in der Regel kleiner ist, so sind diese Werte mit einer Leistungszahl zu multiplizieren, die sich nach der Größe des Winkels richtet. Dieser ist $= 180 - 60\left(\frac{D-d}{A}\right)$

worin D = Nenndurchmesser der großen Scheibe in mm
d = Nenndurchmesser der kleinen Scheibe in mm
A = Achsabstand in mm

Umschlingungswinkel in Grad ...	180	170	160	150	140	130	120	110	100
Leistungszahl	1	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83	0,77	0,70

Für schwere Antriebe, namentlich solche mit Belastungsstößen, sind Sicherheitszuschläge von 20—120% zu machen.

Sonderausführungen. — Kraftringe.

Eine Verminderung des Schlupfes bei Antrieben, welche eine genaue Einhaltung der Drehzahl verlangen, sowie ein günstigeres Verhältnis der Umfangskraft zur Vorspannkraft läßt sich durch ein Belegen der kleinen Scheibe mit Lederringen erreichen. Der Riemen haftet besser und wird durch die geringere Vorspannung geschont. Bei vorhandenen Trieben läßt sich mit dem Riemen eine größere Leistung übertragen. Bei neu zu entwerfenden Trieben kann man mit einem schmaleren Riemen auskommen. Neben der Ersparnis an Raum und Riemen durch Wahl geringerer Achsabstände kann man unter Umständen die sonst erforderlichen Spannrollen entfallen lassen.

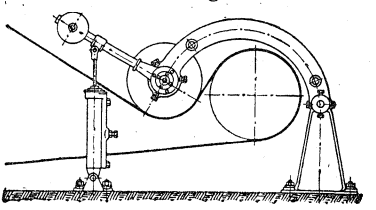


Bild 87. Doppelarmige Spannrolle mit Schwingungsdämpfer.

Auch läßt sich der Durchmesser der Motorriemenscheibe herabsetzen.

Zum Aufbringen der Kraftringe muß eine ballige Scheibe genau zylindrisch abgedreht werden. Der einzelne Kraftring hat 60 mm Breite und besteht aus einem Stahlband mit Chromlederbelag und wird durch zwei von beiden Seiten her einzutreibende Stahlbänder mit keilförmigem Querschnitt befestigt. Die Anzahl der Ringe richtet sich nach der Breite der Scheibe.

Seidenriemen.

Von großer Haltbarkeit sind Riemen aus Naturseide, die endlos gewebt werden, also keine Riemenverbinder und keine Klebestelle aufweisen. Infolge der großen Reißfestigkeit des Werkstoffes besitzen die Seidenriemen geringe Stärke, sind also sehr schmiegsam und ermöglichen häufig die Einsparung einer Spannrolle auch bei größeren Übersetzungen und geringem Achsabstand. Diese Riemen sind auch für kleine Scheibendurchmesser geeignet.

XV. Seiltriebe.

Obwohl bis zu den größten Leistungen Riementriebe insbesondere mit Spannrollen verwendet werden, erfordern zuweilen besondere Betriebsbedingungen (z. B. besonders große Achsenabstände) die Anwendung von Seiltrieben, so auch für den Antrieb mehrerer Wellen in verschiedenen Räumen von derselben treibenden Welle aus.

Das **Übersetzungsverhältnis** wähle man bei verhältnismäßig kleinen Achsenentfernungen nicht über 1 : 6; nur bei großen Entfernungen kann man höher gehen.

Die Berechnung der Gegenscheibendurchmesser erfolgt hier wie bei Riementrieben. Der Seilrutsch ist durch $k = 1{,}01$ zu berücksichtigen. Die Auswahl der Seile geschieht nach untenstehender Tafel.

Tafel 11. Anwendung von Hanfseilen.

Seildurchmesser mm	Kleinster Scheibendurchmesser in mm		Zulässige Nutzbelastung eines Seiles in kg	Übertragbare Pferdestärken eines Seiles bei einer Seilgeschwindigkeit in m/s von			
	für Hanfseil	für Baumwollseil		10	15	20	25
30	900	600	45	6	9	12	15
35	1050	700	60	8	12	16	20
40	1200	800	80	10,5	16	21	26,5
45	1350	900	100	13,3	20	26,6	33,3
50	1500	1000	125	16,6	25	33,3	41,6

Die erforderliche **Anzahl der Seile** ergibt sich aus der Division der gesamten zu übertragenden PS durch den für den bestimmten Fall in Frage kommenden Wert der stark umrahmten Tafel.

Die Seilgeschwindigkeit v ergibt sich nach der Formel:

$$v = \frac{d \cdot 3{,}14 \cdot n}{60 \cdot 1000} \text{ in m/s,}$$

worin bedeutet:

n = Drehzahl einer der Scheiben je Minute,
d = Durchmesser derselben Scheibe in mm.

Der Wirkungsgrad von Seiltrieben sinkt um so mehr, je größer die Anzahl der auf einer Seilscheibe liegenden Seile ist.

XVI. Beförderung von Elektromotoren.

Für die sachgemäße Beförderung zum Aufstellungsort können nur allgemeine Regeln angegeben werden, wie sie für täglich vorkommende Verhältnisse passen. Diese Regeln müssen der Örtlichkeit und der Größe der Motoren angepaßt werden. Die nachstehenden Vorkehrungen sind für Motoren mittlerer Größe etwa bis zu 20—30 PS bestimmt. Kleine Motoren bis zu etwa 50 kg Gewicht kann man im allgemeinen ohne besondere Geräte heben und tragen. Bei größeren Maschinen dagegen, welche hier nicht behandelt sind, muß man Rüstungen und Fördermittel beschaffen, die von Fall zu Fall durchdacht werden müssen.

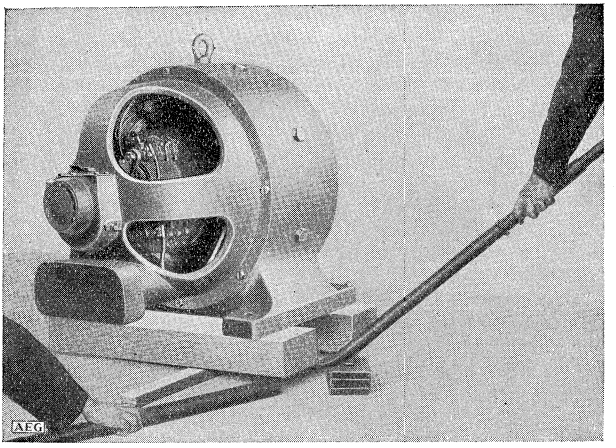


Bild 88. Anheben des Motors und Unterschieben der ersten Walze.

Bei der Bewegung von Elektromotoren in **waagerechter** Richtung darf die Maschine nie unmittelbar auf Stein- oder Eisenboden verschoben werden, sondern es sind Bretter oder Bohlen unterzulegen. Wenn der Motor nicht auf die zum Versand üblichen Fußleisten aufgeschraubt ist, soll man ihn wenigstens lose auf ein Bohlenstück oder zwei Balkenenden stellen, damit durch hartes Aufsetzen die Füße nicht beschädigt werden. Zum Bewegen auf dieser Holzzwischenlage muß man eine Walze unterschieben (ein- oder zweizölliges Gasrohr). Da das hierzu nötige Anheben mittels Brecheisens (Hebebaum) aber mit einem Hub nur 1 bis 2 cm möglich ist, schiebt man nach dem Anheben erst einen Holzkeil unter, um dann mit dem Eisen nachzufassen und weiter zu heben (Bild 88). Die einzelnen Bewegungen dürfen niemals ruckweise und immer nur um wenige Zentimeter vorgenommen werden. Dann wälzt man den Motor so weit vorwärts, bis die erste Walze etwa mitten unter ihm liegt (Bild 89). Dann kann man den Motor leicht ankippen und eine zweite, gleich dicke Walze unterlegen. Beim Weiterschieben wird die erste Walze frei, während dann die zweite etwa mitten unter dem Motor liegt (Bild 90). Man legt

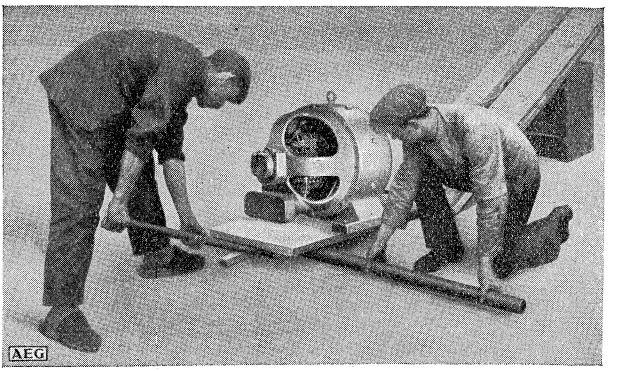


Bild 89.
Waagerechtes Bewegen im Anschluß an das Abladen des Motors.

jetzt die erste Walze wieder nach vorn und fährt so fort. Beim Richtungswechsel legt man die vorn unterzulegende Walze nicht parallel zur festliegenden Walze, sondern in einen Winkel zu dieser, der etwa halb so groß ist, wie die beabsichtigte Schwenkung ausmachen soll.

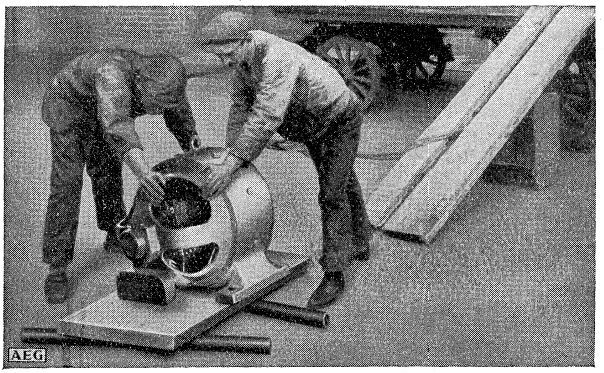


Bild 90. Richtungswechsel (Schwenkung) der waagerechten Bewegung.

Während bei der waagerechten Bewegung die Reibung der Walzen genügt, um eine zu schnelle Bewegung des Motors zu verhindern, soll man bei allen Schrägbewegungen Walzen ganz vermeiden und außerdem stets den Motor noch durch Seile abfangen. Bei Schrägbewegungen würden Walzen nämlich zu leicht den Motor in eine beschleunigte Bewegung geraten lassen, die dann häufig nicht mehr aufzuhalten ist. Selbst die gleitende Reibung gestattet vielfach ein Rutschen noch so weit, daß man sich auf die Kräfte der Bedienungsmannschaft nicht allein verlassen darf, sondern ein Abfangen des Motors notwendig ist.

Wenn irgend möglich, sollte eine Schrägbewegung nur auf einer Bohlenbahn gemacht werden, da ein stufenweises Heben durch „Unterklotzen" immer schwierig und nie ganz unbedenklich ist. Am häufigsten ist das **Auf- und Abladen** von Motoren auf Wagen. Die Bohlen werden schräg gegen den Wagen gelegt, so daß sie die Plattform reichlich überragen (Bild 91). Gegen Durchbiegen werden sie durch eine leere Kiste gestützt. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Kiste nicht von vornherein die Bohlen berühren darf, da sie dann beim späteren Durchbiegen der Bohlen kippt.

Ist beim **Aufladen** die Reibung des Motors auf Holzbohlen zu groß, so legt man je ein Flacheisen auf die Bohlen, so daß nur die Reibung von Eisen auf Eisen zu überwinden ist, die als bremsende Kraft aber noch ausreicht (Bild 91). Das Abfangen des Motors durch Seile geschieht so, daß um den Motorkörper oberhalb der Füße ein Doppelseil geschlungen und geknotet wird, das von dem noch untenstehenden Motor aus straff über die Wagenplattform und um diese herumgezogen wird. Der Wagen muß natürlich festgebremst und durch Klötze an der Fortbewegung gehindert sein. Das straffe

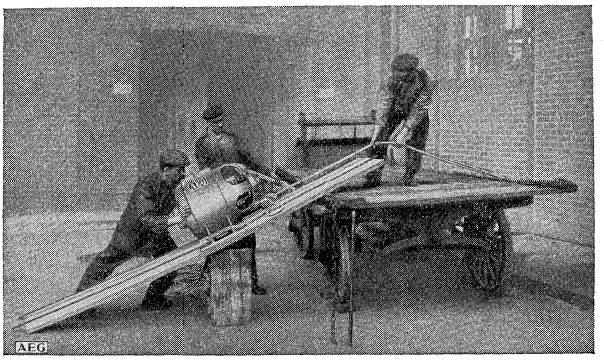


Bild 91. Aufladen eines Motors. Über die Flacheisen auf den Bohlen gleitet der Motor leicht nach oben, wenn der auf dem Wagen stehende Mann das Seil kräftig anzieht.

Seil läßt sich dann von dem auf dem Wagen stehenden Mann leicht heben, während der Motor unter sehr geringem Kraftaufwand der Mannschaft nach oben gleitet. Der dritte Mann, welcher das Ende des Seiles hält, hat lediglich das Seil straff zu halten, insbesondere, wenn der oben stehende Mann nachfaßt. Ist der Motor weit genug nach oben gezogen, so kann man die Bohlen leicht ankippen und herausziehen.

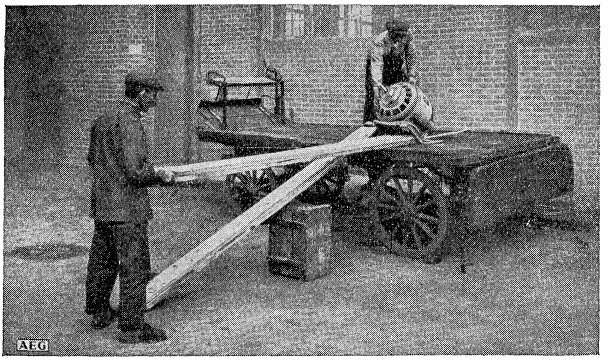


Bild 92. Zum Abladen des Motors wird er leicht angekippt und die Bohlen werden untergeschoben.

Dieser letzte Vorgang ist ganz ähnlich dem umgekehrten beim **Abladen,** dem Unterschieben der Bohlen unter den abzuladenden Motor (Bild 92). Das Halteseil wird hier nicht so scharf um den Wagen geschlungen, da es beim Herablassen nachgelassen werden muß (Bild 93). Steht der Motor auf den Bohlen an der Wagenkante, so wird er unter Straffhalten des Seiles gekippt und gleitet unter der Reibung auf Holz bei leichtem Anheben des unteren Motorendes langsam abwärts (Bild 94). Schließt sich an die schräge, wie es meist ist, eine waagerechte Beförderung an, so tut man gut, den Motor gleich auf die hierzu nötige Bohlenunterlage gleiten zu lassen (Bild 89).

Bei größeren Höhenunterschieden oder etwas schwereren Maschinen muß das einfache Seil durch Flaschenzüge ersetzt werden, die ein ganz allmähliches Nachlassen gefahrlos gestatten (Bild 95). Dabei muß die bremsende Reibung noch so groß sein, daß erst nach leichtem Anheben des Motors mit Brecheisen ein Rutschen zustande kommt. Wie Bild 95 zeigt, werden solche Motoren dann auch oben und unten mit dem Flaschenzug verbunden, so daß auch seitliches Kippen nicht ohne weiteres möglich ist. Für die Flaschenzüge sind zuverlässige Befestigungspunkte zu schaffen.

Ein **senkrechtes** Bewegen des Motors ist in der Regel am einfachsten, da hierzu nur ein selbstsperrender Flaschenzug von genügender Tragfähigkeit erforderlich ist, an dem der Motor mit der Transportöse befestigt wird. Sind für die Aufhängung des Flaschenzuges Haken, Träger oder dgl. nicht vorhanden, so muß man einen Bock beschaffen, an dessen waagerechten Balken

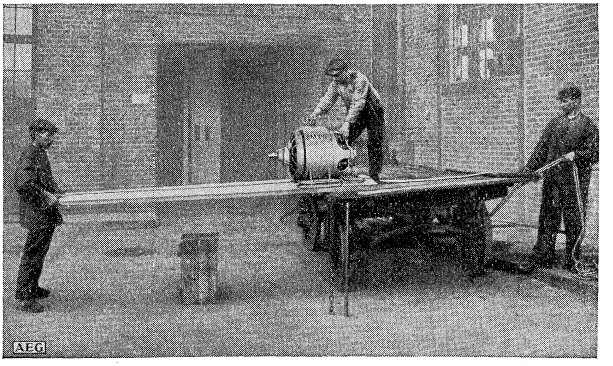


Bild 93. Wenn der abzuladende Motor auf den Bohlen steht, werden diese unter Anspannen des Halteseiles nach unten gekippt.

der Flaschenzug aufgehängt wird. Hierzu ist stets ein doppeltes Seil zu nehmen, so daß beide Seile den Flaschenzug gleichzeitig tragen.

Schwieriger wird die Anbringung des Flaschenzuges und das Anbinden des Motors, wenn er mit den Füßen nach oben an der Decke befestigt werden soll (Bild 96). Wenn möglich, soll man hierzu über der Befestigungsstelle des Motors ein Loch in die Decke machen, durch welches die Kette des Flaschenzuges geführt wird, der im oberen Stockwerk aufgehängt ist. Bild 96 zeigt außerdem das Anbinden des Motors, das hier besonders sorgfältig zu machen ist und die Füße freilassen muß. Das Seil wird erst nach dem Anschrauben und Ausrichten entfernt.

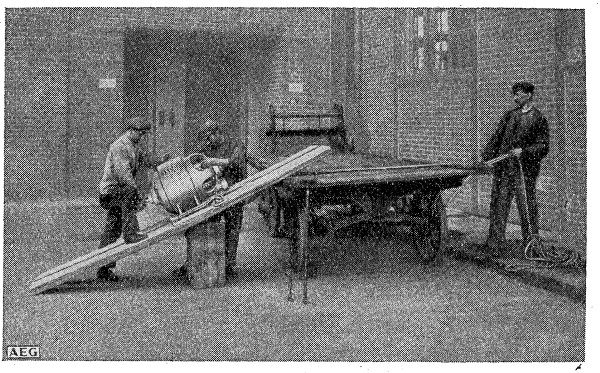


Bild 94. Der abzuladende Motor gleitet beim Nachlassen des Halteseiles nur, wenn man ihn am unteren Ende leicht anhebt.

Ist bei der Deckenbefestigung eine Mitbenutzung des oberen Stockwerkes nicht möglich, so muß man unterhalb der Decke plattformartige Rüstungen bauen, auf welche der Motor durch Schrägbewegung hinaufgebracht wird. Sodann verbleibt nur das Umdrehen und eine ganz geringe Aufwärtsbewegung durch Unterklotzen, um den Motor an die Decke zu bringen.

Anbindearbeiten. Die zum Heben einer Last verwendeten Flaschenzüge und Kranken dürfen nur bis zu der angegebenen Nutzlast beansprucht werden.

Die Last wird an dem Kranhaken durch Hanfseile, in besonderen Fällen auch durch Drahtschlingen und vereinzelt durch Ketten befestigt. Letztere sind unzuverlässig und vor der Verwendung genau zu untersuchen, ob sie nicht in sich verdreht sind und richtig aufliegen. Die Knoten der Seile müssen so geschlungen sein, daß sie sich durch das Gewicht der angehängten Last nicht auseinanderziehen. Anderseits ist dafür zu sorgen, daß sich die fest zusammengezogenen Knoten wieder leicht lösen lassen. Dieses wird durch einen in die Schlinge gesteckten Holzkeil erreicht. Die hauptsächlichsten für das Anbin-

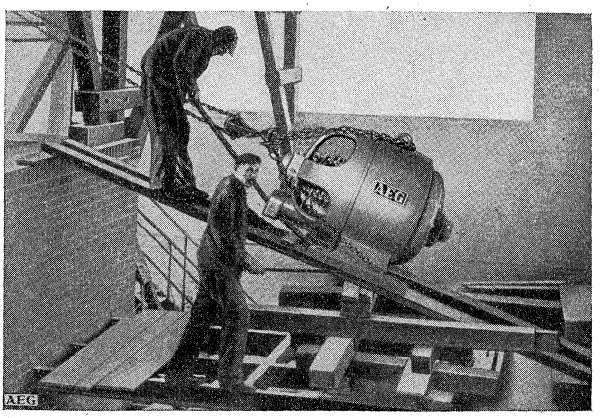


Bild 95. Schwerer Schrägtransport abwärts. Der Motor ist doppelt gefaßt und von einem selbstsperrenden Kettenflaschenzug gehalten.

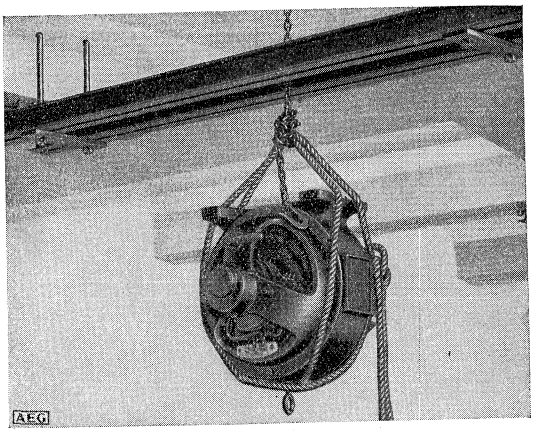


Bild 96. Einbau eines Motors an der Decke. Der Flaschenzug hängt im oberen Stockwerk. Das Halteseil muß die Füße freilassen.

den von Lasten in Betracht kommenden Knoten und Schlingen veranschaulichen die Bilder 97 bis 99.

Der Haken muß sich beim Anbinden möglichst senkrecht über der Last befinden, damit ein schräges Hochziehen vermieden wird. Gewaltsames Einzwängen der Seile bzw. Eintreiben mit Hämmern oder dgl. in die Kranhaken ist unzulässig. Die Haken dürfen nicht an den Spitzen beansprucht werden. Da der Seilzug möglichst in der Richtung des Bolzens der Aufhängeöse wirken soll, sind beim Heben von Lasten mit zwei Ösen zwischen die Seilenden Spreizhölzer zu legen (Bild 101 S. 546). Der Aufenthalt sowie die Vornahme von Arbeiten unter der am Kranhaken hängenden Last ist nicht zulässig. Ebenso ist das unnötig lange Hängenlassen der Last zu vermeiden. Das

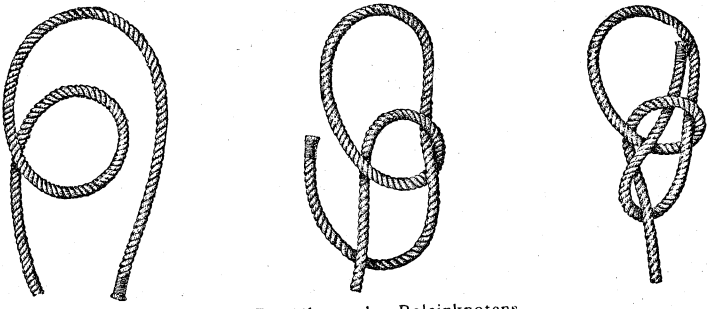


Bild 97. Entstehung des Boleinknotens.
Die Verwendung erfolgt bei einfachen Seilen sowohl an der Last als auch am Haken.



Bild 98.
Schleppschlinge zum Schleppen von Materialien oder Wagen.



Falsche Ausführung, die Seilenden liegen auf beiden Seiten des Knotens.



Richtige Ausführung, die Seilenden liegen auf einer Seite des Knotens.

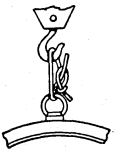
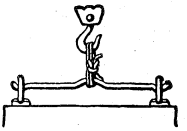
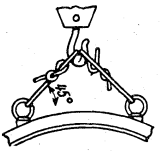
Bild 99. Kreuzknoten. Der Knoten stellt, da er nicht rutschen kann, eine sichere Verbindung dar.



Bild 100.
Kreuzschlinge. Bei unrichtigem Einhängen erfolgt ungleiche Belastung der Seile.

Abhängen der Seile darf erst nach sicherer Lagerung der Last erfolgen. Die zulässige Belastung von Hanfseilen und Drahtseilen ist in nachstehender Tafel angegeben.

Zulässige Belastung von Hanfseilen und Drahtseilen.

Seildurchmesser	Zug gerade		Zug unter 45°
	Seil zweifach	Seil vierfach	Seil vierfach
			
mm	kg	kg	kg
Runde Hanfseile aus reinem, ungeteertem Schleißhanf bei 8facher Sicherheit			
16	290	580	410
20	580	1160	820
23	700	1400	990
26	940	1880	1330
29	1200	2400	1700
33	1480	2960	2090
36	1720	3840	2710
39	2290	4580	3240
46	2680	5360	3790
52	3740	7480	5290
Beste verzinkte Tiegel-Gußstahldrahtseile in Kabelschlagkonstruktion bei 8facher Sicherheit			
8	600	1200	850
10	750	1500	1060
12	900	1780	1275
13	1300	2600	1850
14	1550	3100	2200
15	1750	3500	2500
16	1875	3750	2650
17	2225	4450	3150

XVII. Maschinengründungen.

Feste Maschinengründungen.

Es können hier lediglich einfache Fundamente behandelt werden, wie sie für die Aufstellung von kleinen und mittelgroßen Motoren, Generatoren und Umformern benötigt werden und deren Herstellung ein Maurermeister übernehmen kann. Gründungen für schwere Maschinen mit Aussparungen für Belüftungs- und Kabelkanäle, sowie für Generatoren in Verbindung mit Antriebsmaschinen müssen unter

Zugrundelegung eines besonders anzufertigenden Fundamentplanes von einer erfahrenen Baufirma errichtet werden.

Die Aufstellung erfolgt auf Beton- oder gemauertem Fundament, für das eine Zeichnung von dem Ersteller der Maschine beigegeben wird. Da es sich ausnahmslos um einfache Maschinengebilde mit gleichmäßiger Drehbewegung handelt, erübrigen sich in der Regel Untersuchungen über die Auswirkung freier Kräfte mit periodischer oder Stoßbewegung, wie sie z. B. bei Kolbenmaschinen, Exzenterpressen usw. auftritt. Was gefordert werden muß, ist ein festes Gefüge bis herab auf tragfähigen Grund, unter Beachtung der Maschinengewichte, der Auflageflächen und der Befestigungsart. Zusätzliche Lager und andere Maschinenteile in organischer Verbindung mit der elektrischen Maschine müssen selbstverständlich mit auf dem Fundament stehen und dürfen nicht außerhalb angeordnet werden. Es ist statthaft, kleine Motorgeneratoren und desgleichen ohne Verwendung einer gemeinsamen Grundplatte unmittelbar auf ein gut hergerichtetes Fundament zu stellen. Die gemeinsame guß- oder schmiedeeiserne Grundplatte hat jedoch unverkennbare Vorteile; nach dem Vergießen auf dem Fundament ist die dadurch versteifte Grundplatte die allerbeste Unterlage für zusammengesetzte Maschinenanordnungen. Bei Riemenantrieb muß der einseitige Riemenzug von der Maschinengründung aufgenommen und entsprechend beachtet werden.

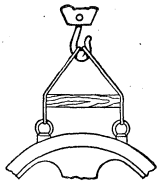


Bild 101. Anhängen von Lasten mit zwei Ösen, unter Verwendung eines Spreizholzes.

Eine Maschinengründung in einfachster Auslegung ist in Bild 102 dargestellt. Die eingetragene Sockelbreite F_1 und Länge G_1 sind Mindestmaße, während die Sockelhöhe T_2 sich nach den jeweiligen Bodenverhältnissen richtet. Hierbei ist zu beachten, daß einerseits die Fundamentgrube möglichst bis auf gewachsenen Boden ausgehoben wird, andrerseits der Sockel auch etwa 20 bis 25 cm über Maschinenhausflur hinausragt, damit bei Reinigungsarbeiten die Maschine gegen Spritzwasser und Beschädigungen geschützt ist. Die Höhe über Flur kann noch durch besondere Umstände beeinflußt werden, z. B. durch die Riemenanordnung oder durch die Lage der anzutreibenden Maschine. Bei gewachsenem Boden sollen erst zwei bis drei und bei aufgefülltem etwa vier bis acht volle Steinschichten aufgemauert werden, bevor mit den Aussparungen für die Fundamentklötze bzw. Bolzen begonnen wird. Die Höhe T_1 dieser Aussparungen und ihre Mittenabstände a und b müssen eingehalten werden; es empfiehlt sich für die Aussparungen zugeschnittene Vierkanthölzer einzumauern oder im Beton mit einzustampfen, und die Löcher erst zu Beginn der eigentlichen Maschinenmontage freizulegen.

Ziegelfundamente.

Bei einem Ziegelfundament sind für einen vollen cbm etwa 385 bis 400 hartgebrannte Normalziegelsteine von $25 \times 12 \times 6{,}5$ cm sowie rund 0,3 m^3 Mörtel erforderlich. Auf 1 m Höhe entfallen 13 Steinschichten, wobei die Fuge mit 1,2 cm Stärke gerechnet wird. Als Mörtel dient eine Mischung aus einem Teil Portlandzement und drei Teilen Maurersand. Für das Abbinden des Fundamentes sind mindestens 5 Tage zu rechnen. Das Eigengewicht gemauerter Fundamente beträgt etwa 1600 bis 1800 kg/m^3, je nachdem ob Ziegelsteine oder bei hohen Beanspruchungen Klinker genommen werden.

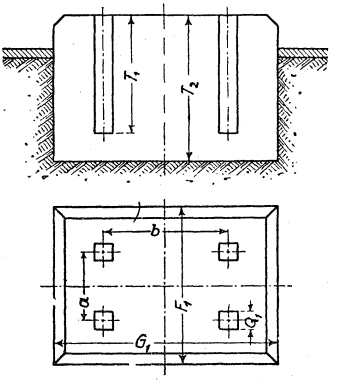


Bild 102. Fundamentzeichnung.

Betonfundamente.

Bei Betonfundamenten liegen gute Erfahrungen vor mit einer Mischung aus einem Teil Portland-

zement, zwei Teilen Maurersand und vier Teilen Kies, die erst trocken gemischt und dann in feuchtem, formbarem Zustand in die aus einer Bretterverschalung hergerichtete Fundamentumrahmung schichtweise eingestampft wird. Betonfundamente erhärten in etwa 14 Tagen, nach deren Ablauf der Aufbau der Maschine beginnen kann. Das Gewicht ist höher als beim Ziegelfundament und erreicht bis etwa 2000 kg/m³.

Vergießen von Maschinen.

Das Vergießen verfolgt den Zweck, alle Hohlräume zwischen Maschinenauflage und Fundament auszufüllen; man vergrößert dadurch die Auflagefläche, verringert den Flächendruck und sichert die Maschine gegen nachträgliche Verlagerungen. Das Vergießen darf erst dann erfolgen, wenn die Maschine unter Zuhilfenahme eiserner Keile genau ausgerichtet auf dem Fundament steht (siehe Ausrichten von Maschinen Seite 552). Für das Vergießen nimmt man einen dünnflüssigen, gut gemischten Zementmörtel aus einem Teil Portlandzement und einem Teil feingesiebten Sand ohne jede Verunreinigung. Die Löcher für die Fundamentklötze oder Verankerungen sind mit der Vergußmasse auszufüllen, während die Stellschienen oder die Fundamentplatten vor dem Untergießen mit einer Lehmwulst einzufassen sind. Das Anziehen der Befestigungsschrauben darf erst nach vollständiger Erhärtung der Vergußmasse vorgenommen werden (nach etwa 14 Tagen); anderenfalls liegt, besonders bei Maschinensätzen auf einer gemeinsamen Grundplatte, die Gefahr des Verspannens vor, hervorgerufen durch das kaum zu vermeidende, ungleichmäßige Anziehen der Fundamentschrauben. Verspannte Grundplatten sind recht häufig die alleinige Ursache eines unbefriedigenden Laufes und nachfolgender Maschinenbeschädigungen.

Abgefederte Maschinengründungen.

Die Notwendigkeit der Abfederung entstand aus der ursprünglichen Forderung, die lästige Übertragung von Erschütterungen und Geräuschen auf bewohnte Räume zu unterbinden; späterhin erhob sich die gleiche Forderung auch dort, wo das Ergebnis der Arbeit in Werkstätten und Laboratorien durch die Begleiterscheinungen bei laufenden Maschinen beeinträchtigt wird.

Die Störungsursache ist die Haftung der festen Maschinengründung im Erdreich oder Gebäude, wobei gewisse Kraftauswirkungen der Maschine gewaltsam an der Verankerung rütteln. Die Folge ist, daß der Erdboden, das Gebäude oder einzelne Gebäudeteile in Abhängigkeit von ihren Eigenelastizitäten und Massen zum Mitschwingen veranlaßt werden.

Die Beseitigung der Störung beruht darauf, den Übergang der Störung von der Störquelle auf die Umgebung durch Maßnahmen zu verhindern, welche die störenden Kräfte nicht oder zum mindesten stark vermindert auf den Untergrund gelangen lassen.

Der Gedanke ist naheliegend, die starre Verbindung zum Untergrund durch eine nachgiebige elastische Unterlage zu ersetzen; man bezeichnete irrtümlich die federnden Unterlagen als Schwingungsdämpfer, wobei man übersah, daß jede Dämpfung ihrem Wesen nach ein Bewegungshindernis darstellt, während man doch ein Gründungsmittel ohne Bewegungshindernis erstrebte, das der Maschine die freie Bewegungsmöglichkeit auf dem Fundament zurückgeben sollte. Bei jeder elastischen Aufstellung ist der Erfolg um so größer, je geringer die Bewegungshindernisse sind, zu denen auch die Dämpfung zu rechnen ist.

Nach den Eigenschaften der zur Verwendung kommenden Federkörper unterscheidet man:

die Stoffederung, bei der die elastischen Eigenschaften des Werkstoffes ausgenutzt werden; das sind: Filzmatten, Kork- und Gummiplatten, sowie Gummipuffer mit Metallbeilagen (Schwingmetall);

die Formfederung, bei der nicht der eigentliche Werkstoff, sondern seine Formgebung die Federungseigenschaften ergibt; das sind Federkörper mit eingesetzten Stahlfedern (zylindrische Wendel- oder Schraubenfedern), bekannt unter dem Namen

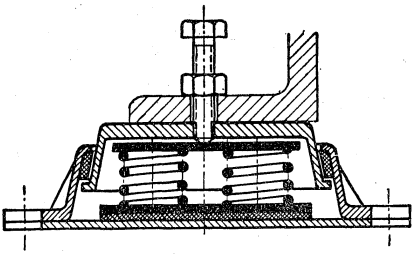


Bild 103. Formfederung (Avibrator).

Federaggregate, Federsätze, Avibratoren, Federisolatoren usw., die mit und ohne Vorspannung in Gebrauch sind (Bild 103).

Die Formfederung beherrscht jede Schwingungsfrequenz; sie eignet sich ganz besonders für die Bekämpfung von Erschütterungen in dem niederfrequenten Störungsgebiet, während die Anwendung der Stoffederung mehr bei dem hörbaren Frequenzbereich liegt. Filz und Korkplatten haben das geringste Federungsvermögen; sie erhärten im Lauf der Zeit, nehmen Wasser und Öl auf und verlieren damit ihre Elastizität. Dagegen hat sich „Schwingmetall" in zahlreichen Fällen bewährt, seine Anwendung und die Austauschbarkeit bei nachlassender Elastizität ist überaus einfach.

Die größte Bedeutung hat die Abfederung bei Maschinen mit ungleichem Gang, das sind z. B. Verbrennungsmotoren (Bild 104), Kompressoren, Exzenterpressen und dergleichen, bei welchen die Auswirkungen freier Massenkräfte ungleich größer sind als bei elektrischen Maschinen, die nur eine durch exzentrisch kreisende Massen an die Drehzahl gebundene Schwingungserregung aufweisen. Während bei den ersten Maschinengattungen mit hin- und hergehenden Maschinenteilen eine genau berechnete Beruhigungsmasse eine Voraussetzung für den Erfolg ist, genügt bei elektrischen Maschinen meistens das Eigengewicht, so daß sie unmittelbar unter Zwischenschaltung der Abfederung auf die Unterlage gesetzt werden können.

Gebäude und Fundamente sind nur dann ernsthaft gefährdet, wenn eine periodische Schwingungserregung genau mit der Eigenfrequenz des Erdbodens oder des Gebäudes übereinstimmt. Dieser Resonanzfall entzieht sich der Vorausberechnung und ist eine Zufallserscheinung, die äußerst selten auftritt. Häufiger sind die sogenannten erzwungenen Schwingungen mit begrenzter Schwingungsweite, die unter Umständen recht unangenehm sein können. Man sollte deshalb bei verdächtigen Aufstellungsverhältnissen stets die Beratung eines Fachmannes in Anspruch nehmen.

Eine gute Abfederung ermöglicht es, Gründungen auf schlechtem Boden mit erheblichen Einsparungen an Fundamentmasse zu errichten; auch lassen sich damit Maschi-

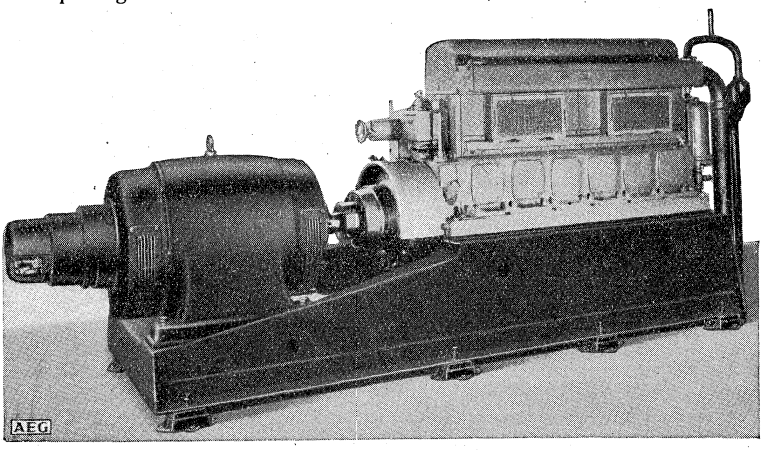


Bild 104. Dieselmaschinensatz auf Formfedern (Avibratoren).

nensätze auf Geschoßdecken aufstellen, wobei der Untergrund lediglich durch das Maschinengewicht als ruhende Last beansprucht wird.

Konsole.

Wenn wegen Raummangels, ungünstigen Riementriebes oder aus anderen Gründen die Aufstellung eines Motors auf einem Fundament nicht möglich ist, ist häufig ein Wandkonsol am Platze. Drehstrommotoren wählt man dann entweder in Ausführung mit Käfigläufer oder mit Regelschleifringläufer, da eine Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung von unten schwer zu bedienen ist. Das Konsol muß außer dem Gewicht des Motors auch den Riemenzug mit Sicherheit aufnehmen. In der folgenden Tafel sind die Abmessungen des erforderlichen U- und L-Eisens für die gängigsten Motorleistungen angegeben.

Das Konsol muß in waagerechter Lage mit Zementmörtel (Mischung siehe auf Seite 546) vermauert werden. Das Ausrichten erfolgt mit der Wasserwaage, und zwar müssen sowohl jedes Einzelkonsol als auch beide zueinander waagerechte Lage haben. Die Abbindezeit beträgt 10—14 Tage. Erst dann darf die Abstützung der beiden Konsole entfernt und mit dem Aufbau des Motors begonnen werden. Nachdem die Bohle aufgelegt worden ist, wird auf diese der Motor mit den Spannschienen aufgesetzt und, wie unter „Ausrichten des Motors" angegeben, sowohl waagerecht als auch zur Gegenscheibe ausgerichtet. Die waagerechte Stellung wird hierbei durch Eisenblechstücke, welche zwischen Bohle und Konsol geschoben werden, erreicht.

Angaben über die Anfertigung von Konsolen.

Motorleistung bis PS bei 1000—1500 U/min	Erforderliches Eisen		In die Wand einzulassen cm	Stärke der Bohle
	U-Eisen Normalprofil	L-Eisen mm		
2	NP 5	40×4	15—20	1¼"
5	NP 6½	40×5	20—30	1½"
8	NP 8	40×6	30—35	2"
12	NP 10	50×8	35—45	2¼"

Die Bauart eines Wandkonsols und die Aufstellung eines Motors für parallel und senkrecht zur Wand verlaufenden Riemenzug zeigen die Bilder 105 und 106.

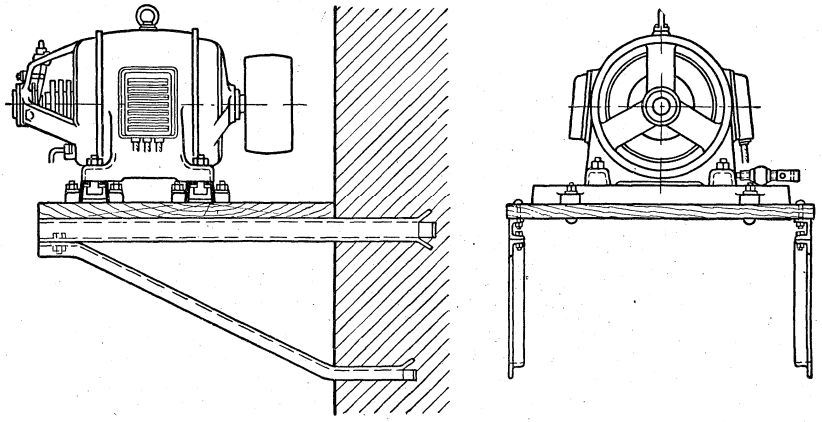


Bild 105. Aufstellung eines Motors auf einer Wandkonsole, Riemenzug parallel zur Wand.

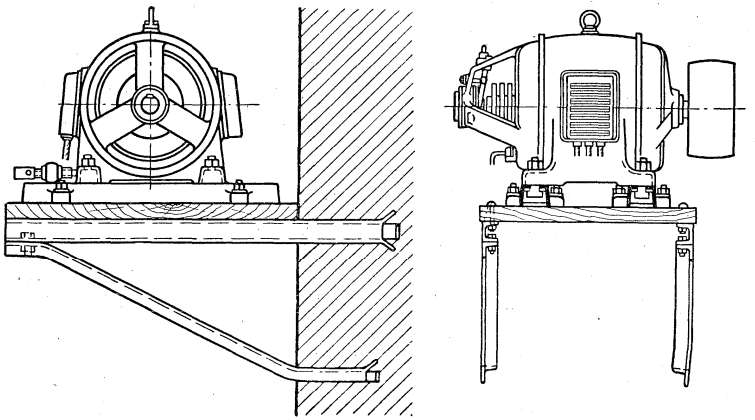


Bild 106. Aufstellung eines Motors auf einer Wandkonsole, Riemenzug senkrecht zur Wand.

Belastung von Decken und Treppen.

Bauteil	Nutzlast etwa kg/m²
Balkenlage in Wohngebäuden	250
Balkenlage in Fabrik- und Lagergebäuden	500
Balkenlage in Getreidespeichern	600—750
Gewölbte Decken aus porigen Steinen in Wohngebäuden	250
Gewölbte Decken aus Vollsteinen	370
Gewölbte Decken in Fabrikgebäuden	620
Gewölbte Decken unter Durchfahrten und befahrenen Höfen	800
Treppen	400—500

XVIII. Aufstellung der Motoren.

Zu den bei der Aufstellung von Motoren vorkommenden Arbeiten gehört das **Aufbringen der Riemenscheibe.** Eine gut passende Scheibe läßt sich nicht von Hand einfach aufsetzen, sondern muß aufgetrieben werden. Nachdem die Feder eingelegt ist, wird die Scheibe auf das äußerste Wellenende aufgesetzt und unter Zwischenlegen eines Holzklotzes mit leichten Schlägen weitergetrieben, wobei man den Holzklotz rings um die Nabe der Scheibe herumführt (Bild 107). Es muß mit einem passenden Gegenstand, am besten mit einem kräftigen Hammerstiel, am anderen Wellenende gut vorgehalten werden, sonst treten Beschädigungen der Schmierringe oder anderer Lagerteile ein. Die Stirnfläche der Welle soll mit der Nabe bündig abschließen. Sodann ist die Schraube anzuziehen, welche die Scheibe auf der Welle gegen Lockern sichert.

Fast ebenso häufig muß eine Riemenscheibe abgezogen werden. Dies ist zweckmäßig nur mit Hilfe einer Spindel zu bewerkstelligen (Bild 108). Eine derartige Vorrichtung läßt sich für zahlreiche verschiedene Größen von Scheiben benutzen und, wenn nicht als Werkzeug vorhanden, auch leicht durch einen Bolzen mit Mutter und entsprechende

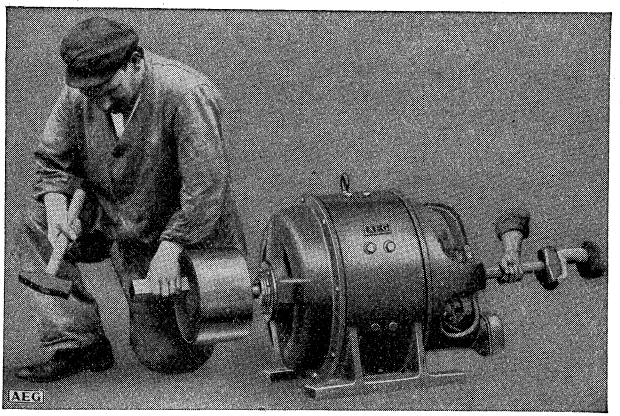


Bild 107. Aufsetzen einer Riemenscheibe.

Eisenbügel ersetzen. Ein untergestellter Klotz verhindert die Welle, an der Drehbewegung der Spindel teilzunehmen.

Das **Ausrichten eines Motors** für Riemenantrieb muß dem Vergießen der Spannschienen vorausgehen. Auf die lose auf das Fundament gelegten Schienen wird der Motor fest angeschraubt und so zunächst das Ganze ausgerichtet. Um die richtige waagerechte Stellung zu erlangen, wird die Wasserwaage auf die bearbeitete Fläche der Spannschienen gelegt und durch Unterschieben von Keilen die Waage in ihre Mittelstellung gebracht. Man verwende nur Keile aus Eisen, da Holzkeile sich leicht eindrücken und bei dem späteren Vergießen aufquellen. Wie in der Längsrichtung sind die Schienen auch quer auszurichten, indem man ein Lineal, Richtlatte oder dergl. quer über die Schienen legt.

Wenn so die Spannschienen in der Waage liegen, wird die Motorwelle zur angetriebenen Vorgelegewelle und die Motorriemenscheibe zur Gegenscheibe ausgerichtet. Dabei sind zwei Bedingungen zu erfüllen:

1. Beide Wellen müssen genau parallel liegen;
2. Die Mittelebenen beider Riemenscheiben müssen zusammenfallen.

Beide Riemenscheiben müssen aufgesetzt sein, da man den Motor sonst nicht genau ausrichten kann. Die genaue Lage der Wellen ist dann erreicht, wenn die Kranzebenen der beiden Scheiben parallel liegen. Verbindet man je zwei gegenüberliegende Punkte der beiden Scheibenkränze, so muß dies eine gerade Linie ergeben, d. h. alle vier Punkte müssen auf einer Geraden liegen (Bild 109). Man prüft das so, daß man einen Bindfaden an die entferntere Kante der Gegenscheibe hält und das andere Ende langsam von außen gegen die Motorscheibe zu bewegt. Dann sieht man, welcher der drei übrigen Punkte sich zu-

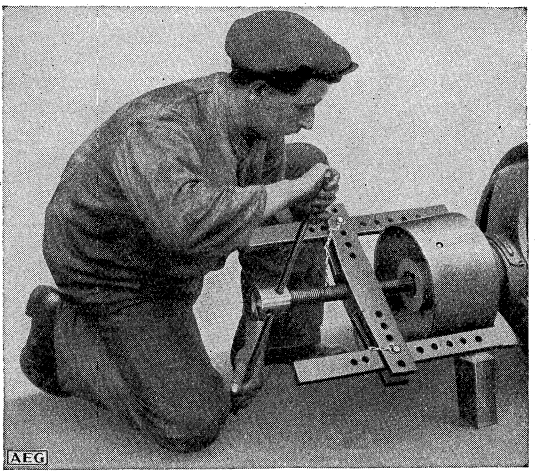


Bild 108. Abziehen einer Riemenscheibe.

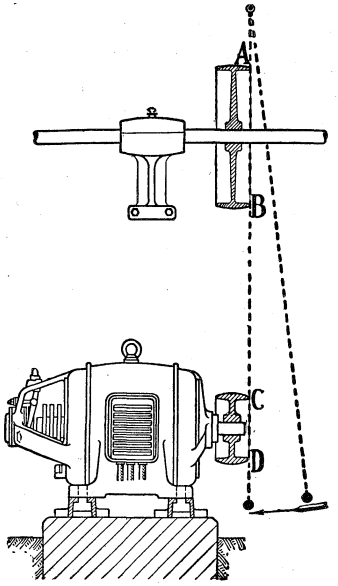


Bild 109. Bei schrägen und waagerechten Riementrieben ist die parallele Lage der Wellen nur gewährleistet, wenn bei gleichen Breiten der Riemenscheiben die vier Punkte A, B, C, D auf einer geraden Linie liegen.

nächst dem Bindfaden nähert (Bild 110). Dann rückt man den Motor so, daß beide Punkte seiner Scheibe genau gleichzeitig mit dem dritten Punkt an der Gegenscheibe den Bindfaden berühren. Keiner der Punkte darf ihn früher, keiner später berühren. Dann stehen die Wellen parallel. Nun versäume man nicht, nochmals die Probe mit der Wasserwaage zu wiederholen, da bei dem Ausrichten des Riemenlaufs die waagerechte Lage der Spannschienen verschoben sein kann, und erst wenn alle drei Proben — die beiden Stellungen der Wasserwaage und die Bindfadenprobe — gleichzeitig stimmen (Bild 111), schreite man zum Vergießen.

Das **Ausrichten von Maschinen,** die gekuppelt werden sollen, ist wie folgt auszuführen. Es ist gleichgültig, ob es sich um starre Kupplungen (Flansch- oder Scheibenkupplungen) oder um elastische (Puffer-, Federbolzen-, Doppelzahn- oder Lederringkupplungen) handelt. In beiden Fällen müssen die Wellen nicht nur parallel, sondern auch ihre Mittellinien in einer Geraden liegen; denn die bewegliche Kupplung ist nicht dazu da, Ungenauigkeiten auszugleichen, sie soll vielmehr die Übertragung von Stößen verhindern. Da die Kupplungshälften das Wellenende fast ganz besetzen, kann man von der Wasserwaage zum Ausrichten der Wellen zueinander kaum Gebrauch machen. Am besten eignet sich ein Werkzeug nach Art des Bildes 112, das für viele verschiedene Wellenstärken und unabhängig von der Art der Kupplung geeignet ist. Nachdem die Wellen nach dem bloßen Auge einigermaßen richtig gestellt sind, wird das Werkzeug aufgesetzt (Bild 113) und so geschoben, daß ein möglichst kleiner Zwischenraum zwischen den Spitzen verbleibt. Wenn man jetzt die beiden Wellen gleichzeitig dreht, darf sich der Abstand von Spitze zu Spitze nicht verändern. Das ist ein Beweis, daß die Wellen parallel stehen. Außerdem müssen sich bei der Drehung beide Spitzen genau gegenüber bleiben, da, solange dies nicht der Fall ist, die Achsmittellinien noch nicht zusammenfallen. Erst wenn also die gegenseitige Lage der Spitzen bei der ganzen Drehung die gleiche bleibt, ist die richtige Stellung der Wellen zueinander erreicht.

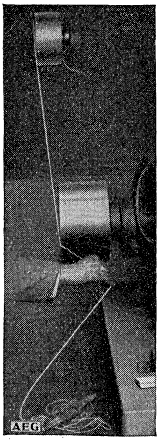


Bild 110. Der Motor steht noch nicht parallel zur angetriebenen Welle.

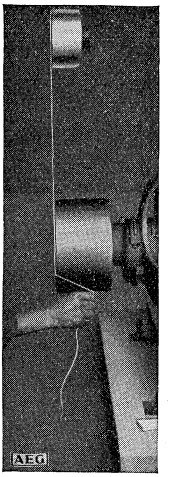


Bild 111. Der Motor steht parallel zur angetriebenen Welle.

Da bei Maschinen mit Gleitlagern die Wellen ein axiales Spiel besitzen, so könnte hierdurch eine Verschiebung der Spitzen gegeneinander eintreten. Man kann das verhindern, indem man eine Stahlspitze in

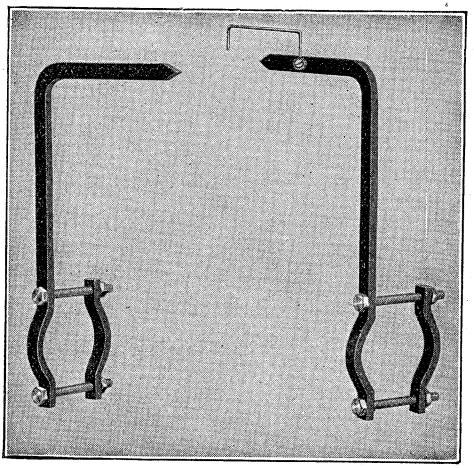


Bild 112. Werkzeug zum Ausrichten direkt gekuppelter Maschinen. (Anwendung siehe Bild 113.)

den Körnerschlag des Wellenspiegels, der der Antriebsseite gegenüberliegt, einführt und diese durch einen Bügel am Lagerschild befestigt. Eine weitere Sicherung für die richtige Lage der Wellen wird dadurch erreicht, daß man bei elastischen Kupplungen den zwischen den beiden Hälften erforderlichen Zwischenraum mittels einer Lehre unter Drehung der Welle nachmißt, der in allen Lagen genau gleich bleiben muß. Bei festen Kupplungen müssen beide Hälften in jeder Lage dicht aneinanderliegen. Erst nach sorgfältigem Ausrichten in der beschriebenen Weise darf das Festschrauben bzw. Vergießen der Maschinen und das Verschrauben der Kupplungen vorgenommen werden. Näheres über das Vergießen von Maschinen siehe unter „Maschinengründungen".

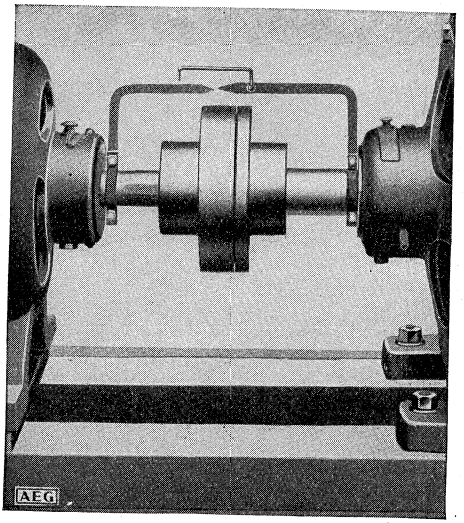


Bild 113. Ausrichten zu kuppelnder Maschinen. Während einer vollen Drehung der Anker dürfen die Spitzen ihre Lage zueinander nicht ändern.

LICHTTECHNIK

Lichttechnik.

Allgemeines.

In allen Räumen, die während der Dunkelheit elektrisch beleuchtet werden, ist zunächst eine **Allgemeinbeleuchtung** vorzusehen. Wo die Gestaltung des Raumes nach künstlerischen Gesichtspunkten erfolgt, muß sich der Bauausführende darüber klar sein, daß ein Innenraum erst durch das aufgestrahlte und wieder zurückgeworfene Licht dem Auge in Erscheinung tritt, daß also die **architektonische Wirkung** eines bei künstlichem Licht benutzten Raumes von der richtigen Ausführung der Beleuchtung abhängt. Die Raumgestaltung sollte also in solchen Fällen stets unter Zuziehung eines Lichtingenieurs erfolgen. Daß es so viele mangelhafte Beleuchtungsanlagen gibt, hat seine Ursache meist darin, daß die Aufgabe ohne Beachtung der lichttechnischen Seite angefaßt wurde. Wenn die moderne Lichttechnik auch ihre Möglichkeiten aus der Elektrotechnik nimmt, so ist sie, ohne das Gebiet der Raumgestaltung und -ausstattung in ihren Arbeitsbereich mit einzubeziehen, nicht denkbar. Jedenfalls dürfen die **lichttechnischen** Aufgaben nicht erst nachträglich, etwa erst nach Verlegung der Leitungen, behandelt werden.

Räume, in denen bestimmte Tätigkeiten, wie Schreiben, Lesen, Nähen oder Werkstattarbeiten usw. ausgeübt werden, sollte man so ausleuchten, daß die Lichtfarbe und die Gleichmäßigkeit des Tageslichtes möglichst erreicht wird. Am besten gelingt dies durch eine ausreichende Allgemeinbeleuchtung. Eine zusätzliche **Arbeitsplatzbeleuchtung** ist nur dort am Platze, wo die erforderliche Beleuchtungsgüte nach Beleuchtungsstärke, Schattigkeit usw. mit der Allgemeinbeleuchtung bei der Art des Raumes, eingebaute Maschinen und dergleichen nicht erreichbar ist. Auf eine Allgemeinbeleuchtung kann aber auch in solchen Fällen nicht verzichtet werden, da bei reiner Platzbeleuchtung der Unterschied der Beleuchtungsstärke gegen die Umgebung zu groß ausfallen würde. Ganz allgemein „muß die künstliche Beleuchtung den Forderungen der Zweckmäßigkeit, Wirtschaftlichkeit, Gesundheit und Schönheit entsprechen. Um eine gute Beleuchtung zu erhalten, sind Beleuchtungsstärke, Schattigkeit, örtliche und zeitliche Gleichmäßigkeit, Leuchtdichte der Leuchtgeräte und Lichtfarbe den Ansprüchen der zu verrichtenden Arbeit und der Betriebssicherheit, dem Verwendungszweck des Raumes und der Verkehrssicherheit anzupassen." (DIN. 5035, Beleuchtungsgüte.)

Für die **Wirtschaftlichkeit** einer Lichtanlage spielt die richtige Auslegung nach lichttechnischen Gesichtspunkten eine wichtige Rolle. Man muß berücksichtigen, daß der Lichtverbraucher gar nicht die Lichtenergie, die er verbraucht, bezahlt, sondern den elektrischen Leistungsaufwand, und daß er deshalb auf richtige Umwandlung dieser Leistung in Licht und die zweckmäßige Verwertung durch die Beleuchtungsanlage Wert legen muß, daß also mit möglichst geringem Stromaufwand eine wirkungsvolle und zweckentsprechende Beleuchtung erreicht werden muß.

Die Wirtschaftlichkeit einer Beleuchtungsanlage hängt aber nicht nur von ihren Einrichtungs- und Betriebskosten selbst ab, sondern auch von dem durch die Beleuchtung beeinflußten Arbeitsergebnis. Ist die Beleuchtung schlecht, ist z. B. die Beleuchtungsstärke ungenügend oder Blendung vorhanden, dann ist zur Erledigung einer bestimmten Arbeit infolge der verringerten Leistungsfähigkeit des Auges eine längere Arbeitszeit erforderlich, als dies bei guter Beleuchtung der Fall wäre. Dieser Mehraufwand an Arbeitszeit kostet in der Regel mehr als die scheinbaren Ersparnisse, die durch Verwendung billiger, unzweckmäßiger Leuchtgeräte oder durch geringere Beleuchtungsstärken erzielt werden. Infolgedessen ist, gemessen am Arbeitsertrag, gute Beleuchtung immer billiger als schlechte.

Auch bei der Stimmungsbeleuchtung (z. B. in Vergnügungs- und Gaststätten, in Theatern, Lichtspielhäusern, Konzertsälen und Kirchen) ist der rein seelische Einfluß einer guten Beleuchtung höher zu werten als die Mehrkosten, die diese gegenüber einer dürftigen Beleuchtungsanlage verursacht.

Zu den anderen vorstehend erhobenen Forderungen wird im Nachfolgenden eingehend Stellung genommen.

Elektrische Lichtquellen.

Die elektrischen Lichtquellen sind entweder **Glühlampen** oder **Gasentladungslampen;** ihre Lichtstrahlung beruht auf wesentlich verschiedener physikalischer Grundlage. In der Glühlampe, welche die Wärmewirkung des elektrischen Stromes ausnutzt, liegt eine reine Temperaturstrahlung vor, denn es wird ein geeigneter fester Leiter durch die Stromwärme bis zur Weißglut erhitzt, der infolge seiner hohen Temperatur Licht aussendet. Bei den Gasentladungslampen findet die Stromleitung dagegen nicht durch einen festen Körper, sondern durch ein Gas statt, das hierdurch zur Lichtaussendung angeregt wird.

Zu den Gasentladungslampen sind auch die Bogenlampen zu rechnen, wenn auch hier die sich zwischen den Elektroden bildende Gassäule weniger als diese selbst zur Lichtaussendung beiträgt. Bogenlampen werden heute nicht mehr zu allgemeinen Beleuchtungszwecken verwendet, sondern nur für Sonderzwecke (für Scheinwerfer, in Vervielfältigungsanstalten und für medizinische Belange).

Eine besondere Stellung nehmen auch das **Moore-Licht** und die **Edelgasröhren** für Hochspannungsbetrieb ein (vgl. Seite 586).

Die für Anschluß an Niederspannung bestimmten Lichtquellen (Glühlampen, Natrium- und Quecksilberdampflampen) sind einheitlich nach ihrer elektrischen Leistungsaufnahme in Watt gestaffelt, ihre Lichtleistung wird durch den von ihnen nach allen Seiten ausgestrahlten Gesamtlichtstrom in Lumen angegeben. Die Wirtschaftlichkeit der Lichterzeugung ist also durch das Verhältnis der abgegebenen Lichtleistung (Lumen) zur verbrauchten elektrischen Leistung (Watt) gegeben; sie wird in Lumen/Watt (lm/W) gemessen und heißt **Lichtausbeute.**

In einigen europäischen Ländern wird die Staffelung der Lampen nicht nach der Wattaufnahme, sondern nach Dekalumen vorgenommen, wobei die internationale Kerze (K) zugrunde gelegt wird.

Die Bewertung der Lampe nach dem **Lichtstrom** erfolgt deshalb, weil es in Innenräumen nicht so sehr auf die Stärke der Lichtaussendung in einer bestimmten Richtung **(Lichtstärke in HK)** ankommt, da durch die Wirkung der Leuchten sowie der Umgebung (Decken, Wände) die Summe des ausgestrahlten Lichtes wirksam gemacht wird (vgl. Seite 575). Nur für Beleuchtungsanlagen in freien Räumen (große Säle, Straßenbeleuchtung) erfolgt die Berechnung unter Berücksichtigung der Lichtstärke unter bestimmtem Winkel (Seite 581).

Die beiden vorstehend benutzten Begriffe „Lichtstrom" und „Lichtstärke" hängen wie folgt zusammen.

Als Grundlage für alle Lichtmessungen dient die Einheit der Lichtstärke, die **Hefner-Kerze** (HK), die in Deutschland durch die in horizontaler Richtung gemessene Lichtstärke der Hefner-Alteneckschen Einheitslampe, wenn diese unter den Normalbedingungen brennt, festgelegt ist.

Die **Lichtstärke** (J) einer punktförmigen Lichtquelle in einer bestimmten Richtung ist nun die Anzahl der von ihr in dieser Richtung ausgesandte Anzahl von HK. Sie wird graphisch dargestellt durch die Länge eines Pfeiles.

Der **Lichtstrom** (Φ) einer Lichtquelle ist die von ihr ausgestrahlte Lichtleistung. Der in Lumen gemessene Lichtstrom kann z.B. mit der in PS oder kW gemessenen, von einem Elektromotor abgegebenen Leistung verglichen werden. Zugeführt wird in beiden Fällen elektrische Leistung, die in Watt gemessen wird.

Eine Lichtquelle liefert den Lichtstrom 1 Lumen, wenn sie die Lichtstärke 1 Hefnerkerze gleichmäßig in den Raumwinkel 1 ausstrahlt.

Unter **Raumwinkel 1** wird hierbei der Kegel verstanden, der auf einer Kugel mit dem Radius von 1 m einen Oberflächenteil von 1 m² herausschneidet (Bild 1).

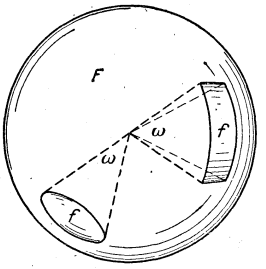


Bild 1. Raumwinkel mit kreisförmigem und mit rechteckigem Querdurchschnitt als Teile einer Kugel.

Betrachtet man das Licht einer punktförmigen Lichtquelle in einer bestimmten Richtung, d. h. also den Teillichtstrom in einem unendlich kleinen Raumwinkel, so ist die Dichte dieses Lichtstromes die Lichtstärke J der Lichtquelle in dieser Richtung, d. h. die Lichtstärke (in HK) $= \frac{\text{Lichtstrom (in 1 m).}}{\text{Raumwinkel.}}$

Da keine Lichtquelle ihr Licht gleichmäßig nach allen Richtungen aussendet, wird zur Berechnung ihres Lichtstromes zunächst die mittlere räumliche Lichtstärke ermittelt, indem man eine um die Lichtquelle als Mittelpunkt umschriebene Kugel in gleiche Raumwinkel teilt und in jedem Raumwinkel die Lichtstärke mißt. Das Mittel aus diesen Werten wird mit 4π, d. h. mit 12,57 multipliziert (Oberfläche der Einheitskugel) und ergibt so den Gesamtlichtstrom (vgl. auch Tafel 3, S. 560).

Glühlampen.

Die für allgemeine Beleuchtungszwecke verwendeten Glühlampen haben alle als Leuchtkörper einen Wolframdraht, der zu einer Wendel (Schraubenlinie) aufgewickelt ist und auf Temperaturen von etwa 2100 bis 2500° erhitzt wird. (Je höher die Temperatur des Leuchtkörpers, desto weißer das Licht.)

Bei den gasgefüllten **D-Lampen** ist der Wolframdraht zu einer Doppelwendel ausgebildet. Die durch das Füllgas am Leuchtkörper verursachten Abkühlverluste werden so verringert, die Lichtausbeute bis zu 20% gegenüber den Einfach-Wendellampen bei gleicher Leistungsaufnahme und Lebensdauer erhöht.

Noch besser ist die Lichtausbeute bei den **K-Lampen,** die mit dem sehr seltenen Kryptongas gefüllt sind. Es sind ebenfalls Doppelwendellampen und geben ein silberweißes Licht.

Um die Gesamtkosten des Betriebes elektrischer Glühlampen möglichst klein zu halten, müssen Stromkosten und Lampenersatzkosten möglichst gering sein. Die Stromkosten sind aber um so kleiner, je größer die Lichtausbeute (Lumen/Watt) ist; **die Lichtausbeute ist daher das erste Wertungsmerkmal der Glühlampe.**

Die Lampenersatzkosten werden um so geringer, je größer die Lebensdauer der Lampen

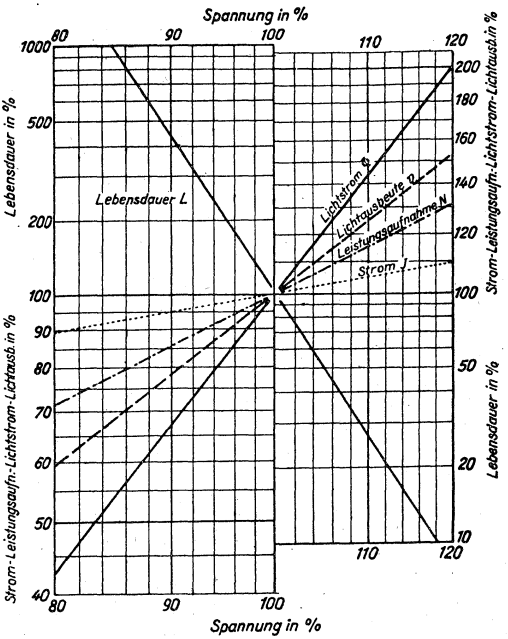


Bild 2. Lichtleistung, Lichtausbeute und Lebensdauer der Glühlampen in Abhängigkeit von der Spannung.

ist. Die Lebensdauer oder genauer **die mittlere Lebensdauer ist daher das zweite Wertungsmerkmal der Glühlampe.** Lichtausbeute und mittlere Lebensdauer sind aber voneinander abhängig. Je höher die Temperatur ist, auf die der Leuchtdraht durch den elektrischen Strom gebracht wird, desto größer wird die Lichtausbeute; desto stärker aber wird auch die Beanspruchung des Leuchtdrahtes, d. h. um so kürzer die Lebensdauer. Die Glühlampen werden daher so gebaut, daß sie eine möglichst hohe Lichtausbeute bei wirtschaftlicher Lebensdauer aufweisen. Dieser Wert liegt bei Lampen für allgemeine Beleuchtungszwecke und den durchschnittlichen Strom- und Lampenpreisen bei 1000 h. Diese mittlere Lebensdauer ist daher auch von allen maßgebenden technischen Verbänden anerkannt.

Tafel 1. Lichtausbeute von Glühlampen.

Lampenart	Lichtausbeute lm/W
Kohlenfadenlampen	3—5
Wolframlampen, luftleer	8—11
Wolframdoppelwendel-(D-)Lampen, gasgefüllt	8—17
Wolframdoppelwendellampen, kryptongefüllt	13
Wolframlampen, gasgefüllt (150 W und mehr)	15—22

Der Durchmesser des Wolframdrahtes in der Glühlampe beträgt einige Hundertstel Millimeter, d. h. nur einen Bruchteil des Durchmessers eines menschlichen Haares. Die Dimensionierung des Drahtes richtet sich nach der gewünschten Leistungsaufnahme, der Leistungsabgabe und der Spannung, mit der die Lampe betrieben werden soll. Daraus folgt die **grundlegende Betriebsvorschrift:** die Nennspannung der Lampe, die stets auf Kolben oder Sockel aufgestempelt ist, muß mit der mittleren Betriebsspannung des Netzes übereinstimmen. Wie sich ständige Über- und Unterspannungen auf Lichtleistung, Lichtausbeute und Lebensdauer auswirken, ist aus Bild 2 ersichtlich. Den im Betrieb auftretenden Spannungsschwankungen ist beim Bau der Glühlampen Rechnung getragen. Der zulässige Spannungsbereich ist Tafel 2 zu entnehmen. Bei Einhaltung dieser Grenzwerte weisen die Lampen eine mittlere Lebensdauer von 1000 h auf.

Tafel 2. Spannungsbereiche von Glühlampen.

Osram-Lampen für eine Bestell-Spannung von:	Sind verwendbar bis zu einer mittleren Betriebsspannung von:	in einem Spannungsbereich von*)
110 V	114 V	110 ... 116 V
120 V	124 V	120 ... 126 V
125 V	129 V	125 ... 131 V
220 V	228 V	220 ... 231 V
225 V	233 V	225 ... 236 V

*) Kurzzeitige Überschreitungen dieser Werte üben keinen nennenswerten Einfluß auf die Lebensdauer der Lampen aus.

Für allgemeine Beleuchtungszwecke kommen die in der **Osram-Einheitsreihe** zusammengefaßten Lampen von 15 und 25 Watt, sowie die **Osram-D-Lampen** (Bild 3) von 40 bis 100 Watt, ferner die **K-Lampe** von 40 Watt in Frage und darüber hinaus die **Osram-Nitra-Lampen** von 150 bis 2000 Watt (Bild 4). Die technischen Daten dieser Lampen sind in der Tafel 3 zusammengestellt.

Tafel 3. Ungefähre Lichtströme in lm der Osram-Lampen.

Spannung V	Einheitsform W		D-Lampen W				Für Soffittenlampen W				K-Lampe
	15	25	40	60	75	100	25	40	60	100	40
110	150	270	560	915	1210	1710	252	416	630	990	—
220	135	240	480	805	1060	1510	224	380	560	1020	525

Spannung V	Für Nitralampen W									
	150	200	300	500	750	1000	1500	2000	3000	5000
110	2620	3620	6000	10 500	16 500	23 500	35 000	44 000	70 000	115 000
220	2280	3220	5250	9 500	15 300	21 000	34 000	41 600	67 000	110 000



Bild 3. Osram-D-Glühlampe

Die Lampen der Einheitsform, die D- und K-Lampen, sind innenmattiert. Sie haben annähernd die gleiche Lichtleistung wie die Klarglaslampen, sind ebenso leicht zu reinigen wie diese und streuen dabei das Licht so stark, daß keine Lichtstreifen an den Abschlußgläsern der Leuchten oder an hellen Decken und Wänden entstehen.

Müssen Lampen so angebracht werden, daß sie dem Auge frei sichtbar sind, so verwende man **Osram-Opal-Lampen** die in den Größen von 40 bis 500 Watt hergestellt werden. Das Opalglas streut das Licht so stark, daß der ganze Lampenkolben als Lichtquelle wirkt. Dadurch wird die Leuchtdichte (vgl. Seite 564) so weit herabgesetzt, daß bei richtiger Anordnung (d. h. genügende Aufhängehöhe, helle Umgebung) und passender Lampengröße die Blendung nahezu vermieden wird. Der Absorptionsverlust gegenüber den Klarglaslampen beträgt etwa 6%.

In Fällen, in denen eine dem Tageslicht ähnliche Lichtfarbe gewünscht wird, werden die **Osram-Tageslicht-Lampen** in den Größen von 40 bis 150 Watt verwendet. Bei dem Einbau ist zu beachten, daß die Lampen stets verdeckt angeordnet werden, weil sonst der Eindruck eines blauen Lichtes hervorgerufen wird. Ferner ist der Absorptionsverlust, der etwa 45% beträgt, durch entsprechend höhere Wattstufen und größere Lampenzahl auszugleichen. Schließlich ist eine wesentlich höhere Beleuchtungsstärke, als sie bei Verwendung gewöhnlicher Lampen üblich ist, zu wählen, da sonst aus psychologischen Gründen der Eindruck eines fahlen Lichtes hervorgerufen wird. Dies hat seinen Grund darin, daß wir bei Tageslicht Beleuchtungsstärken von 50000 Lux (vgl. Seite 572) und mehr gewohnt sind, während bei künstlicher Beleuchtung meistens eine solche von nur etwa 50 bis 300 Lux vorhanden ist.

Für Lichtwerbeanlagen, Zierleuchten usw. werden **Illuminations-Lampen** für Leistungen von 10 bis 40 Watt hergestellt, die auch in den kleineren Leistungen (10 und 15 Watt) mit wetterfestem farbigen Emailleüberzug geliefert werden. Auch größere Lampen bis 100 Watt können farbig ausgeführt werden, und zwar mit Kolben aus Buntglas oder mit durchsichtigem und auch mit mattgefärbtem Überzug, für Innen- und Außenbeleuchtung geeignet je nach Ausführung des Farbüberzuges.

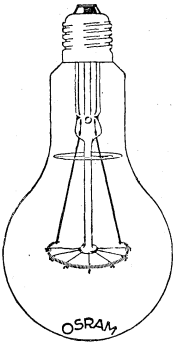


Bild 4. Osram-Nitra-Lampe.

Besondere Formen für bestimmte Verwendungszwecke zeigen die **Kerzen-, Kerzenschaft-** sowie die **Soffitten-** und **Röhrenlampen.** Glühlampen von besonderer Länge (300, 500 und 1000 mm) stellen die **Linestra-Röhren** dar, die ein mildes blendungsfreies — über die ganze Oberfläche gleichmäßig verteiltes — Licht geben und auch als Viertel- und Achtelkreis gebogen geliefert werden. Sie werden als Raumbeleuchtung, für Werbezwecke

und in großen Beleuchtungskörpern verwendet. — Alle anderen Lampenarten, wie Kino-, Projektions- und Scheinwerferlampen, solche für photographische Aufnahmezwecke (Nitraphot-Lampe), für Dunkelkammerbeleuchtung und für medizinische Zwecke (z. B. Cystoskop- und Vitalux-Lampen) dienen Sonderzwecken und werden auf allen Gebieten der Beleuchtungstechnik benutzt, auch dort, wo früher ausschließlich andere Lichtquellen vorherrschend waren, wie z. B. auf photographischem und kinotechnischem Gebiete.

Alle Osram-Lampen sind gegenüber den in jeder Beleuchtungsanlage mehr oder weniger auftretenden Erschütterungen widerstandsfähig. Sind die Lampen aber besonderen mechanischen Beanspruchungen unterworfen, so verwendet man die **Osram-Centra-Lampen.** Das sind luftleere Wendeldrahtlampen verstärkter Bauart in den Größen von 25, 40 und 60 Watt. Allgemein gilt die Regel: je rauher der Betrieb, desto höher sei die Wattzahl und desto geringer die Nennspannung der zu verwendenden Lampe, denn desto größer ist der Durchmesser des Leuchtdrahtes. Dies ist auch der Grund für die teilweise noch verbreitete Ansicht, daß für solche Zwecke die Kohlenfadenlampe die einzig brauchbare Glühlampe sei. Man wird aber in fast allen Fällen nicht zu diesem Hilfsmittel zu greifen brauchen, sondern stets den in Tafel 1 gezeigten großen Vorteil der drei- bis achtfach größeren Wirtschaftlichkeit der Wolframdrahtlampe gegenüber der Kohlenfadenlampe ausnutzen können.

Ferner sei noch auf einen Unterschied in dem Verhalten der Kohlenfadenlampe und Wolframdrahtlampe in physikalischer Hinsicht hingewiesen, der für die Auswahl der Schaltgeräte unter Umständen von Bedeutung sein kann. Während nämlich die Kohle mit wachsender Spannung, d. h. also mit zunehmender Temperatur einen Abfall ihres elektrischen Widerstandes zeigt (es verhält sich Kaltwiderstand zu Warmwiderstand etwa wie 2 zu 1), ist es bei Wolfram umgekehrt. Der Kaltwiderstand beträgt nur etwa den zwölften Teil des Warmwiderstandes. Beim Einschalten der Wolframdrahtlampe geht daher, und das ist besonders bei hochwattigen Lampen von Bedeutung, ein starker Stromstoß durch die Leitung, der allerdings in sehr kurzer Zeit (ein bis zwei Fünftel Sekunden) wieder abklingt.

Metalldampflampen.

Die Metalldampflampen (Gasentladungslampen) sind in neuerer Zeit so vervollkommnet, daß sie mit der normalen Gebrauchsspannung von 220 V Wechselstrom betrieben werden können. Die für Beleuchtungszwecke in Betracht kommenden beiden Arten sind die Natriumdampflampe Na und die Quecksilberdampf-Hochdrucklampe Hg.

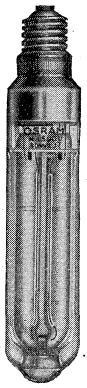
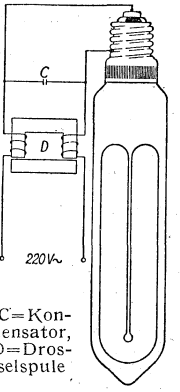


Bild 5. Osram-Natrium-Dampflampe (für Wechselstrom).

Die **Osram-Dampflampen Typ Na** bestehen aus einem Innenrohr, das eine gewisse Menge Natrium enthält. Durch eine Entladung in einem Grundgas wird nach einer kurzen Anlaufzeit Natrium verdampft und zum Leuchten angeregt. Das Innenrohr befindet sich in einem luftleeren Wärmeschutzglas, welches die zum Betrieb der Lampe erforderliche Temperatur bei geringen Wärmeverlusten sicherstellt (Bild 5). Das ausgestrahlte Licht ist einfarbig gelb. Infolge der geringen Leuchtdichte (vergl. S. 564) ist die Gefahr der Blendung bei diesen Lampen stark vermindert. Die Osram-Natrium-Dampflampen haben gegenüber den gebräuchlichen Glühlampen eine 2,5 bis 4mal höhere Lichtausbeute und sind somit sehr wirtschaftlich. Sie ermöglichen die Einrichtung künstlicher Beleuchtung auf vielen Anwendungsgebieten, wo bisher die Beleuchtungskosten wirtschaftlich nicht tragbar waren. Das einfarbig gelbe Licht erhöht die Sehschärfe des



C=Kondensator, D=Drosselspule

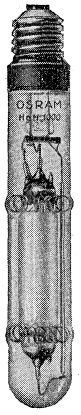
Bild 6. Schaltung der Natrium-Dampflampe.

Auges, was die Erkennbarkeit von feinsten Einzelheiten, wie Risse in der Oberfläche von Materialien usw., ermöglicht. Natriumdampflicht wird auch mit Vorteil in staubhaltigen Räumen, wie z. B. in Gießereien, Zementfabriken benutzt, weil das monochromatische langwellige Licht Staub und Dunst durchdringt, ohne nennenswert zerstreut zu werden, ferner in Kesselhäusern, Ofenräumen, überall, wo das Auge in Flammen oder glühende Räume blicken muß und wo eine genaue Farberkennung nicht notwendig ist. Auch die Beleuchtung von Ausfall- und Überlandstraßen mit starkem Kraftwagenverkehr erfolgt zweckmäßig mit Osram-Natrium-Dampflampen.

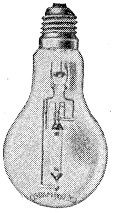
Natrium-Dampflampen werden wegen ihrer fallenden Stromspannungslinie über ein Vorschaltgerät angeschlossen. Bei Nennspannungen von 220 V und darüber erfolgt der Anschluß über eine Drosselspule. Bei niedrigeren Netzspannungen, z. B. 110 V, werden Streufeldumspanner verwendet. Dasselbe gilt für den Fall, daß die Spannung an der Brennstelle den Nennwert um mehr als 10% unterschreitet, sowie für die größeren Lampen, die für 470 V Lampenspannung ausgelegt sind. Die Lichtausbeute beträgt 62...85 Hlm/W für die Lampe allein und 52...69 Hlm/W einschl. Drosselverluste. Zur Vermeidung von Störungen des Rundfunkempfanges ist es notwendig, je eine Wicklungshälfte der Drosselspule in jede der beiden Zuleitungen zu legen und einen Kondensator von 0,1 µF parallel zur Lampe zu schalten (Bild 6). Die Brennlage der Lampen ist beliebig. Sie sind mit einem Edison-Sockel E 40 versehen, mit Ausnahme der größeren Lampen, die einen Bajonettsockel B 22 haben und nur in waagerechter Lage brennen dürfen. Ausgeschaltete Lampen zünden beim Wiedereinschalten allgemein sofort wieder. Sollte dies aber ausnahmsweise nicht der Fall sein, so ist mit dem nochmaligen Einschalten einige Minuten zu warten.

Für die Natriumdampflampen werden Leuchten mit tiefbreitstrahlendem Emailleschirm ähnlich Bild 32 oder mit freistrahlendem Trübglas ähnlich Bild 31 verwendet. Die für die Lampen erforderlichen Zusatzgeräte werden im Oberteil der Leuchten untergebracht. Hinsichtlich der Lichtfarbe vergl. Seite 574.

Osram-Dampflampen Typ Hg (Bild 7) sind Gasentladungslampen, deren Kolben (Längenabmessungen wie bei Glühlampen gleicher Lichtleistung, einseitige Sockelung) neben einem Edelgas noch **Quecksilber** enthalten, das nach Verdampfung durch den elektrischen Strom zum Leuchten angeregt wird. Die Anlaufzeit beträgt etwa 5 Minuten. Die Lampe kann bei heißer Röhre wegen der höheren Zündspannung nicht sofort wieder gezündet werden, sondern muß erst abkühlen (3...5 Minuten). Die Lichtfarbe ist bläulich weiß. Das Quecksilberspektrum enthält in der Hauptsache gelbes, grünes und blaues Licht. Der Mangel an roten Strahlen kann in besonderen Fällen durch Verwendung von Glühlampenzusatzlicht ausgeglichen werden. Bei einem Mischungsverhältnis von 1:1 nach dem Lichtstrom wird die Lichtfarbe am meisten dem Tageslicht angeglichen. Im übrigen wird jedoch auch hier das Anwendungsgebiet des reinen Quecksilberdampflichtes durch seine Lichtfarbe bestimmt. Die Quecksilberdampflampen besitzen eine Lichtausbeute von 39...53 lm

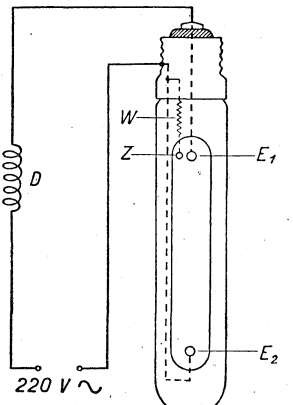


HgH



HgQ

Bild 7. Osram-Quecksilberdampflampen (für Wechselstrom).



D = Drosselspule, W = Widerstand, E_1, E_2 = Hauptelektroden, Z = Zündelektrode

Bild 8. Schaltung der Quecksilberdampflampen

je Watt einschließlich Drosselverlusten. Sie können in Glühlampenleuchten entsprechender Größe und Ausführung Verwendung finden.

Der Betrieb der Quecksilberdampflampen an 220 V Wechselstrom erfolgt unter Vorschaltung einer Drosselspule, die den Spannungsunterschied zwischen Netzspannung (200 bis 250 V) und Brennspannung (115 bis 135 V) aufnimmt. Die induktive Belastung durch die Drosselspule bedingt auch hier eine Phasenverschiebung, so daß der Leistungsfaktor 0,54 ... 0,58 beträgt. Bei Mischlicht, und zwar 1:1 nach dem Lichtstrom beträgt der Leistungsfaktor bereits 0,9 und mehr. Die Schaltung der Lampe ist aus Bild 8 ersichtlich. Eine besondere Heizung der Elektroden fällt fort. Die Zündung wird durch eine Hilfselektrode (Glimmentladung) eingeleitet.

Die mittlere Lebensdauer der Metalldampflampen Typ Na und Hg beträgt etwa 3000 Brennstunden. Die Metalldampflampen sind weniger spannungsempfindlich, d. h. ihre Lebensdauer wird nicht in dem Maße wie bei Glühlampen durch Spannungsänderungen beeinflußt.

In der Tafel 4 sind die Daten der Metalldampflampen Type Na und Hg zusammengefaßt.

Tafel 4. Leistungsaufnahme und Lichtströme der Metalldampflampen Typ Na und Hg für 220 V, 50 Hz.

Lampe Type	Leistungsaufnahme einschl. Drossel-Verluste W	Lichtströme etwa lm	Stromstärke A	Brennspannung etwa V
Na 300 U	62	3 300	0,9	65
Na 500 U	94	5 500	1,2	75
HgQ 300	83	3 300	0,7	
HgQ 500	130	5 500	1,1	125
HgH 1000	280	11 000	2,2	
HgH 2000	475	22 000	3,7	
HgH 5000	1060	55 000	8,0	130

Die Lampe Typ Hg 5000 wird nur für Sonderfälle hergestellt. Sie hat an beiden Enden Zweistiftsockel.

HgQ-Lampen werden auch als Leuchtstofflampen hergestellt, bei denen der Außenkolben auf der Innenseite Leuchtstoffe trägt, durch welche die unsichtbare Ultravioletttstrahlung in sichtbares, vorzugsweises rotes Licht umgewandelt wird. Hierdurch wird die Lichtfarbe der Lampe verbessert und die Leuchtdichte herabgesetzt. Die technischen Daten dieser Lampen (HgL 300 und 500) werden gegenüber der normalen Ausführung nicht geändert.

Glimmlampen.

Zu den Gasentladungslampen rechnen auch die Glimmlampen, die mit einem Edelgasgemisch gefüllt sind (75% Neon und 25% Helium). Infolge ihres geringen Lichtstromes (etwa 1 Lumen) sind sie für allgemeine Beleuchtungszwecke nicht geeignet, wohl aber wegen ihrer geringen Leistungsaufnahme (0,25 bis 3 W) für Dauerbeleuchtungen wie Not- und Richtungs- sowie als Anzeigelampen. Sie werden in der Regel mit einem im Sockel eingebauten Widerstand geliefert. Bei Bestellung ist neben der Spannung anzugeben, ob sie für Gleich- oder Wechselstrom verwendet werden sollen.

Leuchten.

Die elektrischen Lichtquellen allein sind für Beleuchtungszwecke meist ungeeignet, da sie immer mehr oder weniger stark blenden. Das von der elektrischen Glühlampe und den Gasentladungslampen gelieferte Licht ist gleichsam ein Rohprodukt, das durch zweckentsprechende Leuchten erst umgeformt und veredelt werden muß, um für eine gute Beleuchtungsanlage verwendet werden zu können. Die bei dieser Um-

formung durch Absorption des Lichtes im Werkstoff der Leuchten auftretenden unvermeidlichen Lichtverluste spielen keine Rolle, da die Vorteile einer besseren Beleuchtung weit größer sind, als die Nachteile eines geringen Lichtverlustes. Die Wirkungsweise der Leuchten beruht auf der Reflexion und Durchlässigkeit ihrer Baustoffe, wodurch die Leuchtdichte der Lichtquelle auf ein die Blendung ausschließendes Maß heruntergesetzt wird.

Leuchtdichte.

Alle Flächen werden erst dadurch sichtbar, daß sie entweder selbst leuchtend sind oder aufgestrahltes Licht zurückstrahlen. Das Verhältnis der Lichtstärke J (in Richtung nach dem Auge) u der vom Auge gesehenen Größe der Fläche f′ heißt die Leuchtdichte B (Bild 9). Es ist also für selbstleuchtende Flächen

$$B = \frac{J}{f'}$$

Leuchtdichte (in HK je cm² oder Stilb) $= \frac{\text{Lichtstärke (in HK)}}{\text{gesehene Fläche (in cm}^2\text{)}}$

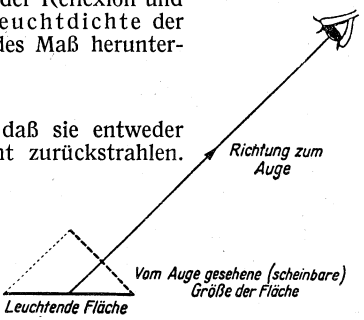


Bild 9. Darstellung der Leuchtdichte.

Das Stilb (sb), d. h. die Leuchtdichte in Hefner-Kerzen je cm², ist die Einheit der Leuchtdichte.

Da die Gegenstände der Umwelt (abgesehen von ihrer Farbe) nur durch ihre Leuchtdichte bzw. die L uchtdichtenunterschiede dem Auge sichtbar werden, ist sie für gutes Sehen maßgebend. Andererseits verursacht zu große Leuchtdichte die Blendung, die der Feind alles guten Sehens ist.

Für Leuchtgeräte wird empfohlen, folgende Leuchtdichten nicht zu überschreiten:

bei Leuchten für Arbeitsplatzbeleuchtung:
0,2 Stilb im Ausstrahlungsbereich zwischen 75° und 180° (gezählt von der Senkrechten nach unten als Nullachse);

bei Leuchten für Allgemeinbeleuchtung:
0,3 Stilb im Ausstrahlungsbereich zwischen 30° und 90°;

bei Leuchten für Außenbeleuchtung:
2 Stilb im Ausstrahlungsbereich zwischen 60° und 90°.

Wenn auch die Einhaltung dieser Werte in manchen Fällen schwierig ist, ist sie doch nach Möglichkeit anzustreben.

Werkstoffe.

Für die richtige Ausbildung der Leuchten ist die Kenntnis der Eigenschaften der Werkstoffe erforderlich.

Die Beschaffenheit eines Werkstoffes in lichttechnischer Hinsicht ist gegeben durch seine Reflexion (ρ), Absorption (α) und Durchlässigkeit (τ). Man versteht darunter die Fähigkeit eines Stoffes, Lichtstrom zurückzuwerfen (reflektieren), zu verschlucken (absorbieren) und durchzulassen. Alle drei Lichtstromanteile zusammengenommen, müssen immer 1 (100%) ergeben. Also:

$$\rho + \alpha + \tau = 1.$$

Die Reflexion und Durchlässigkeit eines Körpers kann gerichtet, gestreut oder gemischt sein. Die gerichtete Rückstrahlung erfolgt nach dem bekannten Spiegelgesetz: Einfalls- und Ausfallswinkel eines Lichtstrahles sind einander gleich (Bild 10). Gerichtet reflektierende Flächen sind versilberte Glasspiegel, hochglanzpolierte Metalle usw. Bei der vollkommen gestreuten Rückstrahlung (Gips, Kreide, Leimfarbenanstriche) wird das Licht nach allen Seiten hin zerstreut, wobei die größte Lichtstärke senkrecht von der rückstrahlenden Fläche ausgeht (Bild 11). Bei der ge-

mischten Rückstrahlung (mattierte Metalle, Emaille, Opalglas, Lackanstriche, Glanzpapier) tritt teils Spiegelung, teils gestreute Rückstrahlung auf, wobei der Lichthöchstwert unter dem gleichen Winkel zur Flächensenkrechten austritt, unter dem das Licht einfällt (Bild 12). Entsprechend sind die Verhältnisse bei der Durchlässigkeit, die gerichtet (Bild 13) (Klarglas, klare Flüssigkeiten), gestreut (Bild 14) (Opalglas, Marmor, Alabaster, Pergament) und gemischt (Bild 15) (Ornamentgläser, nicht genügend dichte Trübgläser) sein kann.

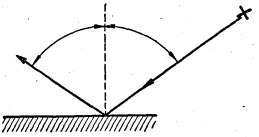


Bild. 10. Gerichtete Rückstrahlung.

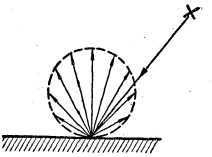


Bild 11. Gestreute Rückstrahlung.

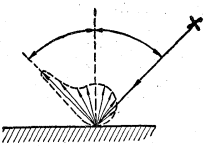


Bild 12. Gemischte Rückstrahlung.

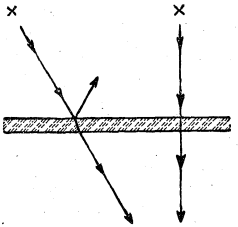


Bild 13. Gerichtete Durchlässigkeit.

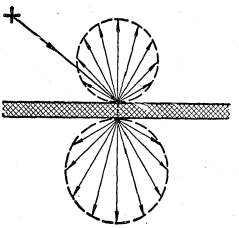


Bild 14. Gestreute Durchlässigkeit.

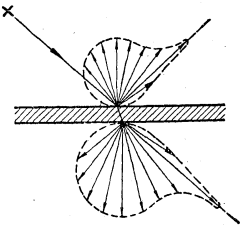


Bild 15. Gemischte Durchlässigkeit.

Die Rückstrahlung, Absorption und Durchlässigkeit der Baustoffe spielt sowohl für die Herstellung der Leuchten als auch für die Beleuchtungstechnik (Wahl der zweckmäßigsten Beleuchtungsart und -stärke) eine ausschlaggebende Rolle (Tafel 5 und 6).

Tafel 5. Angenäherte Werte von Rückstrahlungsvermögen und Absorption lichtundurchlässiger (Rückstrahler-) Baustoffe in v. H.

	Art der Rückstrahlung	Größe der Rückstrahlung	Größe der Absorption
Silberspiegel	gerichtet	70...85	30...15
Weiße Emaille	gestreut, geringer Teil gerichtet	66...70	34...30
Aluminium poliert	gerichtet	67...70	33...36
Aluminium mattiert	unvollkommen gestreut	55...60	45...40
Weißblech	vorwiegend gerichtet	67...69	33...31
Mattweißer Anstrich.....	vollkommen gestreut	76...86	24...14
Außenanstrich chromgelb	vorwiegend gestreut	45...55	55...45

Tafel 6. Angenäherte Werte von Rückstrahlvermögen, Durchlassung, Absorption lichtdurchlässiger Baustoffe in v. H.

	Dicke mm	Streuung	Rückstrahlung	Durchlassung	Absorption
Klarglas	2...4	keine	6...8	90...92	2...4
Ornamentglas	3,2...5,9	gering	7...24	57...90	3...21
Klarglas:					
außen matt	1,8...3,1	gering	7...20	63...87	4...17
innen matt	1,8...3,1	gering	6...16	77...89	3...11
Massiv-Trübglas:					
Gruppe I	1,7...3,6	gut	40...69	12...38	12...31
Gruppe II	1,7...3,5	gut	46...54	37...47	7...11
Gruppe III	1,8...3,5	gut	65...78	13...31	4...10
Opalüberfangglas:					
Gruppe I	1,9...2,9	gut	31...45	47...66	3...10
Gruppe II	2,8...3,3	gut	54...67	27...35	8...11
Opalinglas	2,2...2,5	gering	13...28	58...84	2...14
Papierkarton, schwach getönt.	—	gut	rd. 69	rd. 8	rd. 23
Pergament, ungefärbt	—	gut	rd. 48	rd. 42	rd. 10
Seide, weiß	dichte Seide	annähernd gut	28...38	61...71	1
Schirting	—	gut	rd. 68	rd. 28	rd. 4
Zellon, grau, durchsichtig	0,5	gering	rd. 8	rd. 79	rd. 13
Zellon, weiß	1,0	gut	rd. 55	rd. 17	rd. 28

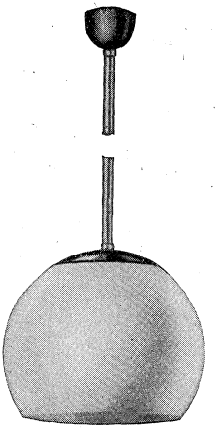


Bild 17. Kugelleuchte.

Die lichtlenkende und lichtstreuende Wirkung der soeben erwähnten Baustoffe ist bestimmend für die Beleuchtungsart, die unter Verwendung der mit diesen Stoffen hergestellten lichttechnischen Zweckleuchten verwirklicht werden kann.

Schließlich ist eine Leuchte auch hinsichtlich der guten mechanischen Ausführung ihrer tragenden und lichttechnischen Teile zu beurteilen, wobei in elektrotechnischer Hinsicht auch Sonderanforderungen, z. B. für wasserdichte Leuchten in feuchten Räumen, zu erfüllen sind.

Die Abführung der von der Glühlampe erzeugten Wärme muß durch sorgfältige Lüftung und Vermeidung jeder Wärmestauung in der Leuchte möglich sein, damit keine unzulässig hohen Temperaturunterschiede auftreten können, die nicht nur das Material der Leuchten, sondern auch die Lichtquellen selbst vorzeitig zerstören würden.

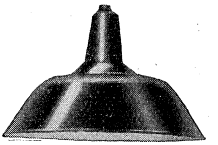


Bild 16. Tiefbreitstrahler.

Ausführung der Leuchten.

Mittels der Leuchte gleicht man die hohe Leuchtdichte der neuzeitlichen Lichtquellen aus, und zwar in der Weise, daß man entweder die

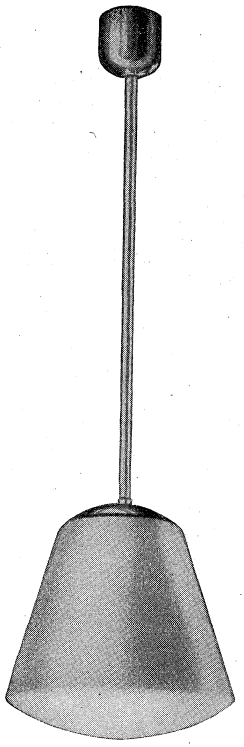
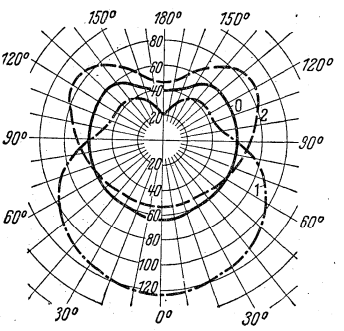


Bild 18. Gealux-Pendelleuchte.

Lichtquelle dem unmittelbaren Blickfeld entzieht, indem man sie in tiefgezogenen, lichtundurchlässigen Schirmen anordnet, oder indem man sie mit einem lichtdurchlässigen Körper von stark vergrößerter Oberfläche umgibt. Die Gesamtleuchtdichte wird hierdurch so weit herabgesetzt, daß eine **Blendung** nicht mehr auftritt. Ein Beispiel für die erste Form der blendungsfreien Leuchte bietet der bekannte Tief- und Tiefbreitstrahler, Bild 16, während für die zweite Ausführung die Kugelleuchte (Bild 17) die einfachste Form darstellt. Sämtliche anderen Leuchten sind entweder Abarten dieser beiden Grundformen oder Verbindungen beider Formen zu einer die Blendung ausschließenden Leuchte. Die Glasleuchten (Kugelleuchten, Gealux-Pendelleuchten, Kegelleuchten Bild 18) können entweder mit durchweg gleichmäßigen Überfanggläsern ausgeführt werden, die das Licht nach allen Richtungen gleichmäßig ausstrahlen, oder sie ermöglichen durch entsprechende Beeinflussung der Überfangschicht auch eine Lichtrichtung vorwiegend nach unten oder vorwiegend nach der Decke. Man spricht hierbei von Verlauf- bzw. Reflexgläsern. Dadurch ist es möglich geworden, ohne Zwischensetzen von Metallhaltevorrichtungen und ohne geteilte Glocken verschiedene Lichtrichtungen durch dasselbe Leuchtenmodell durchzuführen (Bild 19).



0 = Halbdirekt.
1 = Vorwiegend direkt,
2 = Halbindirekt.

Bild 19. Lichtverteilungskurven der Leuchte nach Bild 18 je nach Ausführung der Glocke.

Bild 20 und 21 zeigen noch zwei blendungsfreie Ausführungen von Großflächenleuchten, Bild 22 eine Mischlichtleuchte, die in einfacher Weise die Zusammenschaltung einer Quecksilberdampf- mit Glühlampen gestattet. Auch die Leuchten nach Bild 20 und 21 werden als Mischleuchten ausgeführt.

Um die Herabsetzung des Wirkungsgrades einer Leuchte durch Verstaubung, die in einem normal benutzten Raum bei halbindirekter Beleuchtung bereits innerhalb 4 Wochen bis zu 25% betragen kann, möglichst zu vermeiden, ist schon beim Entwurf der Leuchte darauf zu achten, daß die Staubverschmutzung



Bild. 20. Großflächenleuchte für vorwiegend indirektes Licht.

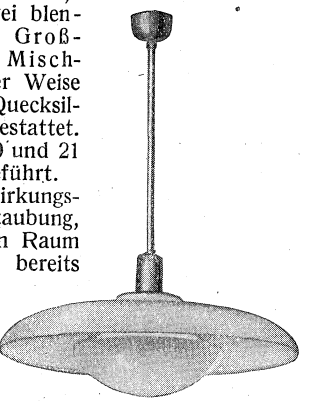


Bild 21. Großflächenleuchte für vorwiegend direktes Licht

durch Wahl geeigneter Werkstoffe (z. B. nur innenmattierte Gläser an Stelle von außenmattierten) und möglichst stark geneigte Flächen, so klein wie möglich gehalten wird. Die Notwendigkeit einer regelmäßigen Reinigung der Leuchte erscheint danach selbstverständlich. Die Leuchten sind deshalb genügend zugänglich, gegebenenfalls herablaßbar, anzubringen, zumal auch gealterte Glühlampen von Zeit zu Zeit gegen neue ausgewechselt werden müssen.

Die gebräuchlichsten Arten der diesen Gesichtspunkten entsprechenden Leuchten sind unter Angabe ihrer Lichtverteilung und ihres Verwendungszweckes für die einzelnen Beleuchtungsarten in Tafel 7 angegeben.

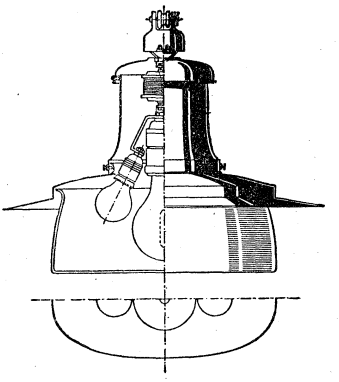


Bild 22. Mischlichtleuchte.

Tafel 7. Kennzeichen der gebräuchlichsten Leuchten.

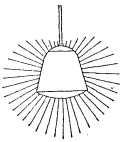
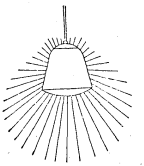
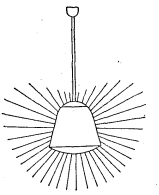
Bild	Art	Anwendungsgebiet	Form der Leuchten und ihre Lichtverteilung	Merkmale Kennzeichen	Für Lampen Watt
			Innenraumbeleuchtung		
23	Halbdirekte Lichtverteilung	Läden, Treppen, Flure usw.		Allseitig opalüberfangene Gläser, Lichtverteilung annähernd gleichmäßig im Raum verteilt	100...500
24	Vorwiegend direkte Lichtverteilung	Verkaufstische, Büros aller Art mit dunklen Decken u. Wänden, mechanische Werkstätten, hohe Räume		Oberglas opalüberfangen, Unterglas mattiert, Hauptlicht nach unten, kräftige Schatten, hohe Beleuchtungsstärke unter der Leuchte	100...500
25	Halbindirekte Lichtverteilung	Für alle vorgenannten Räume mit hellen Decken und Wänden, Zeichensäle, Schulen		Oberglas mattiert, Unterglas opalüberfangen, Hauptlicht nach oben, weiche Schatten, erhöhte Gleichmäßigkeit	100...500

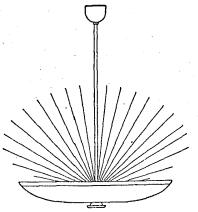
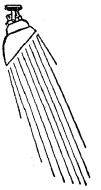
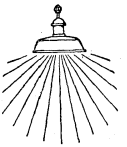
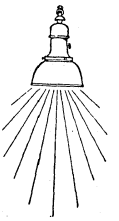
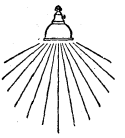
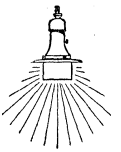
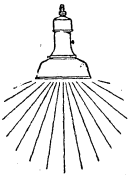
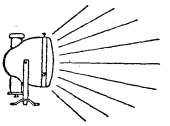
Bild	Art	Anwendungsgebiet	Form der Leuchten und ihre Lichtverteilung	Merkmale Kennzeichen	Für Lampen Watt
26	Indirekte Lichtverteilung	Konzertsäle, Bildergalerien, Theater, Kinos und alle Räume mit sehr hellen Decken und Wänden		Oberglas mattiert oder klar, Unterschale lichtundurchlässiges Glas (verspiegelt), nach oben strahlender Metallschirm, Licht nur nach oben, keine Schlagschatten, dekorative Wirkung	3×200 oder HgQ 300 und 3×200
27	Schrägstrahler	Schaufenster aller Art und Größe		Glassilberspiegel, Hauptlicht schräg nach unten	25...200 300...500
		Werkstattbeleuchtung			
28	Tiefbreitstrahler	Allgemeinbeleuchtung von Werkstätten, Fabrikräumen, Maschinensälen, Lagerschuppen, Shedbauten sowie gewerblichen Räumen aller Art bis 5 m Höhe		Halbtiefer Emailrückstrahler, auch mit verstellbarer Fassung	100...1000 Hg + Na
29	Tiefstrahler	Allgemeinbeleuchtung hoher Montage- und Maschinenhallen, Shedbauten, Speicher und Schuppen über 5 m Höhe		Tiefer Emailrückstrahler, mit verstellbarer Fassung	750...1500 Hg + Na
30	Kleine Tiefstrahler	Einzelplatzbeleuchtung an Maschinen und Arbeitsplätzen aller Art, z. B. Werkzeugmaschinen, Schraubstöcke, Werkbänke, Arbeitstische, Feilbänke usw.		Tiefer Emailrückstrahler, auch mit verstellbarer Fassung	200

Bild	Art	Anwendungsgebiet	Form der Leuchten und ihre Lichtverteilung	Merkmale Kennzeichen	Für Lampen Watt
		Beleuchtung im Freien			
31	Offener Breitstrahler	Straßen, Plätze, Höfe, vorwiegende Beleuchtung der Bodenflächen, weniger nach den Seiten		Trübglasschirm unten offen, Licht vorwiegend nach unten, wenig nach den Seiten	100...1000 auch für HgQ 300... HgH 2000 oder Mischlicht oder Na 300 U ... 500 U
32	Tiefbreitstrahler	Straßen, Plätze, Höfe, Gleis- u. Hafenanlagen, bei denen die Lichtquelle seitlich etwas abgedeckt sein soll		Halbtiefer Emailrückstrahler, unten offen oder mit Mattglasabdeckung	100...1000 auch für Metalldampflampen od. Mischlicht wie oben Bild 31
		Flutlichtbeleuchtungen			
33	Anleuchtgerät	Anleuchtung der vertikalen Flächen von Gebäuden aller Art, Hausfassaden, Denkmälern, Türmen, Geschäftshäusern, Firmenschildern, Werbeflächen		Tiefer Emailrückstrahler. Verstellung der Fassung, Scheinwerfergabel, Öffnungswinkel etwa 90°, für Entfernungen bis 20 m	200...1000 Hg + Na
34	Flutlichtscheinwerfer	wie vor, jedoch für größere Entfernungen od. kleinere Gegenstände		Glassilberparabolspiegel, Streuung etwa 10°, für Entfernungen bis 150 m	bis 1500

Beleuchtungstechnik.

Die Anforderungen, die an eine gute Beleuchtung gestellt werden müssen, sind bereits eingangs erwähnt (S. 556). Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sei hier noch nachgetragen, daß nach Untersuchungen in mehreren Industriebetrieben die Betriebskosten für Beleuchtung unter 0,5% der Fertigungslöhne liegen. Eine Verbesserung der Beleuchtung kann also den Unkostenanteil immer nur unwesentlich erhöhen, fördert aber erheblich das Wohlbefinden und die Arbeitsfreudigkeit der Belegschaft. Zu beachten sind folgende Punkte:

Tafel 8. Notwendige Beleuchtungsstärken (nach DIN 5035).

Art der Anlage (Die Beleuchtungswerte werden bei der Allgemeinbeleuchtung auf eine waagerechte Ebene in 1 m Höhe über dem Fußboden, bei der Arbeitsplatzbeleuchtung auf die Arbeitsfläche bezogen)		Allgemeinbeleuchtung: Mittlere Beleuchtungsstärke, Mindestwert Lux*	Allgemeinbeleuchtung: Mittlere Beleuchtungsstärke, Empfohlener Wert Lux	Allgemeinbeleuchtung: Beleuchtungsstärke der ungünstigst. Stelle, Mindestwert Lux*	Allgemeinbeleuchtung: Beleuchtungsstärke der ungünstigst. Stelle, Empfohlener Wert Lux	Arbeitspl.-beleuchtg. Beleuchtungsstärke der Arbeitsstelle Lux
Arbeitsstätten einschließlich Schulen						
Industrie- und Handwerksbetriebe	Grobe Arbeiten	20 (20)	40	10 (10)	—	50...100
	Mittelfeine Arbeiten	40 (30)	80	20 (15)	—	100...300
	Feine Arbeiten	75 (40)	150	50 (20)	—	300...1000
	Sehr feine Arbeiten	150 (50)	300	100 (30)	—	1000...5000
Aufenthalts- u. Wohnräume (bei mittl. Rückstrahlung der Raumauskleidung 40...60%)						
Art der Ansprüche	Niedrige	20	40	10	—	Wie für Arbeitsstätten
	Mittlere	40	80	20	—	
	Hohe	75	150	50	—	
Verkehrsanlagen						
Straßen, Plätze	Schwacher Verkehr	1	3	0,2	0,5	—
	Mittlerer Verkehr	3	8	0,5	2	—
	Starker Verkehr	8	15	2	4	—
	Stärkster Verkehr in Großstädten	15	30	4	8	—
Durchgang, Treppen	Schwacher Verkehr	5	15	2	5	—
	Starker Verkehr	10	30	5	10	—
Bahnanlagen	Gleisfelder, schwacher Verkehr	0,5	1,5	0,2	0,5	—
	desgl., starker Verkehr	2	5	0,5	2	—
	Bahnsteige, Verladestellen, Durchgänge, Treppen mit schwachem Verkehr	5	15	2	5	—
	desgl. mit starkem Verkehr	10	30	5	10	—
Wasserverkehrs-Anlagen	Kaianlagen, Ladestellen, Schleusen mit schwachem Verkehr	1	3	0,3	1	—
	desgl. mit starkem Verkehr	5	15	2	5	—
Fabrikhöfe	Schwacher Verkehr	1	3	0,3	1	—
	Starker Verkehr	5	15	2	5	—

Grobe Arbeit. Gießerei: Eisengießen, Gußputzen. Metall: Grobwalzen und -ziehen, Schmieden und Schruppen. Ziegelei. Gerberei.

Mittlere Arbeit. Gießerei: Einfaches Formen, Spritzguß. Metall: Revolverdrehbank, Pressen, Stanzen. Holz: Sägen, Hobeln, Fräsen. Lebensmittelbetriebe.

Feine Arbeit. Metall: Feinwalzen und -ziehen, Drehbänke, Pressen, Montage. Holz: Polieren. Gewebe: Spinnen, Weben, Färben, Zuschneiden, Nähen. Druckerei: Maschinensatz, Drucken. Büroarbeit: Maschinenschreiben, Lese- und Schreibarbeit.

Sehr feine Arbeit. Metall: Gravieren, Feinmechanik, Uhren, Glasbearbeitung. Gewebe: Bearbeiten von dunklen Stoffen. Druckerei: Handsatz, Lithographie. Büroarbeit: Zeichnen.

* Die in Klammern stehenden Zahlen gelten nur dann, wenn außer der Allgemeinbeleuchtung noch eine Arbeitsplatzbeleuchtung vorhanden ist.

1. **Beleuchtungsstärke.** Die Dichte, mit welcher der Lichtstrom Φ (S. 557) auf eine Fläche F auffällt, heißt die Beleuchtungsstärke E der Fläche. Die Einheit ist das Lux (lx). Es ist also

$$E = \frac{\Phi}{F}$$

$$\text{Beleuchtungsstärke (in lx)} = \frac{\text{Lichtstrom (in lm)}}{\text{Fläche (in m}^2\text{)}}$$

(Die Fläche der Einheitskugel, die um die Lichtquelle von 1 HK umschrieben ist, empfängt je Quadratmeter gerade 1 lm, hat also die Beleuchtungsstärke 1 Lux.)

Bei natürlicher Beleuchtung schwankt die Beleuchtungsstärke in sehr weiten Grenzen. Bei Vollmond herrscht z. B. eine Beleuchtungsstärke von nur $^1/_5$ Lux. In der Dämmerung sind etwa 1—10 Lux vorhanden, am Tage bei bedecktem Himmel dagegen einige tausend Lux und am Mittag eines sonnigen Hochsommertages sogar rund 100000 Lux. Diesen stark verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen vermag sich das Auge weitgehend anzupassen, allerdings nicht, ohne an Sehfähigkeit bei zu geringen Beleuchtungsstärken einzubüßen. Bei der künstlichen Beleuchtung können wir die am Tage herrschenden hohen Beleuchtungsstärken nicht erreichen, aber es gibt für bestimmte Arbeitsverrichtungen und -verhältnisse Mindestbeleuchtungswerte, die unbedingt eingehalten werden müssen, wenn wirtschaftlich gearbeitet werden soll.

In Tafel 8 sind die erforderlichen Beleuchtungsstärken zusammengestellt. Von den beiden angegebenen Werten soll der empfohlene Wert gewählt werden, ausnahmsweise ein geringerer bis zu dem Mindestwert nur dann, wenn der Charakter des Raumes und die in ihm zu verrichtende Arbeit, Größe und Art des Arbeitsgutes oder die Art und Stärke des Verkehrs es rechtfertigen. Bei Verkehrsanlagen kann außerhalb der normalen Verkehrszeiten die mittlere Beleuchtungsstärke je nach der Bedeutung der Straße, des Platzes usw. bis auf ein Drittel vermindert werden.

Die Beleuchtungsstärke muß um so höher sein, je feinere Einzelheiten unterschieden werden müssen, je geringer die Gegensätze bei den wahrzunehmenden Gegenständen sind und je kleiner das Reflexionsvermögen der Körperoberflächen ist, d. h. je dunkler diese sind. Hohe Beleuchtungsstärken sind also beispielsweise erforderlich für die feinen Arbeiten in der Feinmechanik oder bei Büroarbeiten, wenn z. B. mit Bleistift geschrieben wird oder Maschinenschriftdurchschläge gelesen werden. Ebenso muß geringe Rückstrahlung von dunklen Stoffen in der Weberei oder in der Schneiderwerkstatt durch erhöhte Beleuchtungsstärke ausgeglichen werden.

Es ist kaum möglich, ohne optische Hilfsmittel subjektiv festzustellen, wie hoch die Beleuchtungsstärke an einem gegebenen Platz ist. Selbst wer jahrelang hauptsächlich Lichtmessungen durchgeführt hat, besitzt nur einen annähernden Begriff darüber, wie hoch die Beleuchtungsstärke in Lux ausgedrückt etwa sein könnte. Da das Auge sehr anpassungsfähig ist, darf man sich nicht auf das Auge verlassen, wenn man beurteilen will, ob eine Beleuchtungsstärke ausreichend oder mangelhaft ist. Hierzu ist ein objektiv messendes Gerät erforderlich. Bei dem in Bild 35 und 36 dargestellten selbstanzeigenden Beleuchtungsmesser fällt das Licht auf ein Sperrschichtphotoelement, das je nach der auffallenden Beleuchtungsstärke einen verschieden hohen Strom abgibt, der durch das in Lux geeichte Meßgerät angezeigt wird. Bei ihrer Handlichkeit können die Geräte überall mitgeführt werden. Will man sehr geringe Beleuchtungsstärken (z. B. Straßenbeleuchtungen) genau messen, so kann man ein größeres mit sieben Photoelementen versehenes Gerät benutzen, das eine hohe Empfindlichkeit besitzt.

Mit einer Photozelle arbeitet auch der AEG-Dämmerungsanzeiger, der dazu bestimmt ist, Lichtstromkreise selbsttätig in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke ein- oder auszuschalten. Übliche Einstellwerte sind für das Einschalten bei einer Helligkeitsabnahme auf 3 ... 8 Lux, für das Abschalten bei Werten von 2 ... 4 Lux.

2. **Gleichmäßigkeit** der Beleuchtung. Zeitliche Schwankungen in der Beleuchtungsstärke können durch regelmäßige Spannungsschwankungen auftreten und sind, weil

sie das Auge sehr ermüden, unbedingt zu vermeiden. Durch die Welligkeit des Wechselstromes tritt bei Glühlampenbeleuchtung ein Flimmern des Lichtes nicht auf, wenn die Frequenz über 40 Hz liegt. Diese Erscheinung kann dagegen bei Quecksilberlicht auftreten, wenn schnelle Bewegungen verfolgt werden müssen, da die Gasentladungslampen trägheitslose Lichtquellen sind. Durch diesen sogenannten „stroboskopischen Effekt" kann im ungünstigsten Falle der Eindruck erzielt werden, daß der bewegte Gegenstand (umlaufende Maschinen) stillsteht. In solchen Fällen muß man durch Zuschalten von Glühlampenlicht Abhilfe schaffen.

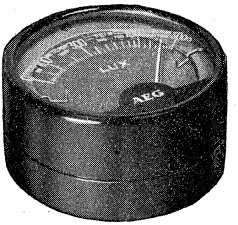
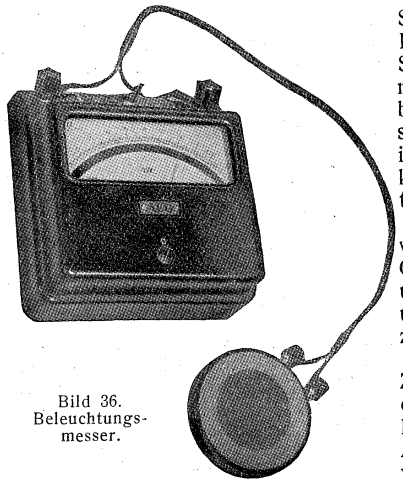


Bild 35. Taschen-Beleuchtungsmesser.

Hinsichtlich der örtlichen Gleichmäßigkeit der Beleuchtung ist zu verlangen, daß sowohl im Raum selbst die Beleuchtungsunterschiede nicht stören, daß aber auch Räume, die häufig nacheinander betreten werden, in ihrem Beleuchtungsverhältnis aufeinander abgestimmt werden, damit dem Auge die Arbeit des Umstellens von einer Beleuchtungsstärke auf die andere möglichst erleichtert wird. Diese Forderung gilt aber besonders für möglichst gleichmäßige Übergänge zwischen Arbeitsplatz- und Raumbeleuchtung, weswegen auf eine ausreichende Allgemeinbeleuchtung Wert zu legen ist. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung ist von der Anzahl und der Verteilung der Leuchten abhängig, sowie von der Reflexion von Decke und Wänden.

3. **Die Schattigkeit** (d. h. der durch die Lichtrichtung und -verteilung bedingte Leuchtdichtenunterschied) hängt mit der Gleichmäßigkeit der Beleuchtung insofern zusammen, als der Schatten letzten Endes nur durch eine mehr oder weniger starke Ungleichmäßigkeit entsteht. Die Beleuchtung eines Arbeitsraumes darf durchaus nicht schattenlos ausgeführt werden, da erst die Schattenbildung das körperliche Sehen ermöglicht und die Gegenstände der Umgebung plastisch erscheinen läßt.


Bild 36. Beleuchtungsmesser.

Daraus erhellt die große Bedeutung richtiger Schattigkeit für eine gute Beleuchtungsanlage. In den meisten Fällen sind weiche milde Schatten erwünscht; harte tiefe Schatten sind nur dort angebracht, wo die Plastik der Körper besonders betont werden soll. Gänzlich schattenlose — also indirekte — Beleuchtung ist für die meisten Arbeiten ungeeignet. Sie kommt vornehmlich als Stimmungsbeleuchtung für Theater, Kinos usw. in Frage.

Man merke sich, daß die Schatten um so weicher werden, je größer die leuchtende Oberfläche eines Beleuchtungskörpers ist, und um so milder, je mehr weiße oder helle Decken und Wände durch Reflexion des Lichtes mit zur Beleuchtung des Raumes beitragen.

Die gewünschte für den betreffenden Zweck passende Schattigkeit erhält man durch richtige Auswahl der Leuchten (direkt, halbindirekt oder indirekt) sowie durch ihre Anzahl und die Abstände der Leuchten voneinander.

4. Die **Blendung** wurde bereits bei der Ausführung der Leuchten behandelt (S. 567). Die Blendung ist ein Hauptfeind jeder guten Beleuchtung und muß unter allen Umständen vermieden werden. Das Wesen der Blendung besteht in einer Überreizung der Netzhaut des Auges durch zu hohe Lichteinwirkungen, die sich aber nicht nur aus zu hoher Leuchtdichte der Lichtquelle, sondern auch durch den Kontrast der Lichtquelle

zu ihrer Umgebung ergeben kann. Die sogenannte Umfeldblendung entsteht, wenn zu hohe Leuchtdichten außerhalb des eigentlichen Beobachtungsfeldes irgendwo im Sehfeld liegen. Sie ist die am häufigsten vorkommende Form der Blendung.

Ob eine Leuchte blendet, läßt sich auf einfache Weise dadurch feststellen, daß man scharf an der Leuchte vorbeisieht und versucht, die in der Blickrichtung liegenden Gegenstände zu erkennen. Wenn ein Erkennen möglich ist, blendet die Leuchte nicht. Für die richtige blendungsfreie Anordnung sei folgendes Beispiel gegeben. Das Licht darf z. B. auf die Arbeitsplätze in einem Bürobetrieb nicht unmittelbar von vorn, sondern muß schräg von der Seite einfallen, damit Spiegelungen auf glänzendem Papier oder bei Kopierstiftschrift vermieden werden. Auch eine genügend große Aufhängehöhe kann geeignet sein, die Blendung zu vermeiden. Die Augenbrauen übernehmen dann bis zu einem gewissen Grade das Abschirmen zu starker direkter Lichtstrahlen.

5. **Die Lichtfarbe.** In den Normen wird weiter die richtige Lichtfarbe als Voraussetzung für die Güte einer Beleuchtungsanlage genannt. Es ist hierbei zu berücksichtigen, daß das menschliche Auge nicht bei allen Lichtfarben gleichmäßig empfindlich ist. Ursprünglich und gewohnheitsmäßig erscheint uns das Tageslicht als diejenige Lichtfarbe, die uns die Arbeit des Sehens so leicht wie möglich macht. Aber auch das Tageslicht ist farbmäßig nicht gleichbleibend. Z. B. strahlt der mit weißen Wolken bede kte Nordhimmel eine andere Lichtfarbe aus als der wolkenlose blaue Südhimmel an einem Sommermittag. Trotzdem aber erscheinen uns die Lichtfarbenunterschiede nicht bedeutend, und die langjährige Gewöhnung an die Lichtfarbe der Glühlampe läßt uns auch nur noch gelegentlich daran denken, daß diese Lichtfarbe sich grundlegend von der des Tageslichtes unterscheidet. Während bei bedecktem Himmel das Tageslicht sich annähernd zu gleichen Teilen aus roten, grünen und blauen Lichtstrahlen zusammensetzt, wird der Rotanteil bei kleineren Metalldrahtlampen bis auf 63% zu Lasten der beiden anderen Farbanteile erhöht. Es ergibt sich hieraus, daß das Licht der Glühlampe nur dann die zweckentsprechende Lichtfarbe besitzt, wenn es sich nicht darum handelt, Farbunterscheidungen zu treffen, z. B. in Färbereien, Webereien, beim Verkauf von Stoffen, die den Verhältnissen bei Tageslicht entsprechen müssen. Solche Farbunterscheidungen setzen eine Angleichung der Lichtfarbe an das Tageslicht voraus, die am einfachsten durch Filtrierung vorgenommen werden kann, wodurch aber erklärlicherweise ein sehr großer Anteil der in Licht umgesetzten elektrischen Leistung verlorengeht. Neuerdings hat man durch Verwendung der Quecksilberdampflampen in Verbindung mit Glühlampen in einer Leuchte ein Mischlicht zur Verfügung, das farbmäßig dem Tageslicht sehr nahegebracht werden kann, so daß hierbei auf denkbar wirtschaftliche Weise eine Angleichung an die natürliche Tageslichtfarbe erzeugt wird. Besonders wichtig sind solche Farbangleichungen dort, wo neben natürlichem Licht auch künstliche Beleuchtung erforderlich ist und es sich darum handelt, Zwielicht zu vermeiden, und dort, wo durch die Angleichung der Lichtfarbe an die natürlichen Beleuchtungsverhältnisse die Sehfähigkeit des Auges erhöht werden soll, z. B. in Räumen, deren Beleuchtung durch das Tageslicht in den Wintermonaten an der Fensterseite ausreicht, die aber in ihren tiefer gelegenen Teilen durch das Tageslicht allein zu schwach beleuchtet sind.

Außer dem Hg-Licht kommt z. B. für Industriebeleuchtung auch das Natriumlicht in Frage. Bei der Prüfung von Oberflächen bewährt es sich infolge seiner Einfarbigkeit noch besser als das Hg-Licht. Man wird es also vornehmlich dort verwenden, wo man ganz besonderen Wert auf eine Oberflächenbeobachtung (Haarrisse u. dgl.) legt, oder dort, wo eine Durchdringung von Nebelschwaden notwendig ist, z. B. in der Glasbearbeitung, in Blechwalzwerken, Gießereien u. dgl. Natriumlicht kommt außerdem für Autostraßen, Verladeanlagen usw. in Frage. Eine Mischung mit anderen Lichtfarben ist auch bei Natriumlicht möglich.

Berechnung der Beleuchtungsstärke für die Planung von Beleuchtungsanlagen.

Geschlossene Räume.

Wirkungsgradmethode. Für die Planung von Beleuchtungsanlagen in geschlossenen Räumen bedient man sich am besten der sogenannten Wirkungsgradmethode, die einfach und schnell zum Ziele führt. Sie beruht auf der Formel

Lichtstrom Φ (Lumen) = Beleuchtungsstärke E (Lux) · Fläche F (m^2).

Da aber bei praktischen Beleuchtungsanlagen nie der ganze von den Glühlampen erzeugte Lichtstrom ausgenutzt wird, sondern immer ein Teil durch Absorption (Verschluckung) in der Leuchte und an Decke und Wänden verlorengeht, muß in vorstehende Formel noch der „Beleuchtungswirkungsgrad" η eingeführt werden, der diese unvermeidlichen Verluste berücksichtigt. Er ist das Verhältnis des für die Beleuchtung ausgenutzten Lichtstromes zu dem erzeugten Lichtstrom. Dann ist also der

$$\text{erforderliche Gesamtlichtstrom } \Phi = \frac{E \cdot F}{\eta}$$

Bei der Planung einer Beleuchtungsanlage wird zuerst die Beleuchtungsart (halbdirekt, vorwiegend direkt, halbindirekt oder indirekt) festgelegt.

Halbdirekte Beleuchtung für hohe Hallen und für gewerbliche Räume mit dunkler Decke oder großen Oberlichtern, Läden, Treppen, Flure; außerdem für solche Arbeiten, bei denen kräftige Schatten erwünscht sind (Bahnhofs- und Montagehallen, Fabriken, Hüttenbetriebe, Gießereien usw.).

Vorwiegend direkte Beleuchtung für hohe oder dunkel ausgestattete Räume, in denen eine ziemlich hohe Beleuchtungsstärke benötigt wird; außerdem für solche (auch helle!) Räume, in denen eine etwas kräftige Schattigkeit herrschen soll (Warenhäuser, Verkaufsräume, Setzereien, feinmechanische Werkstätten).

Halbindirekte Beleuchtung für Wohn- und Arbeitsräume, in denen Wert auf guten Raumeindruck gelegt wird. Die Schatten sind weich und milde (Wohn- und Aufenthaltsräume, Gaststätten, Läden, Büros, Zeichensäle, Schulen).

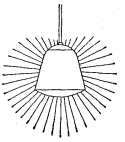
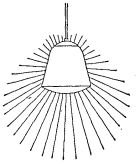
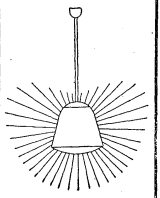
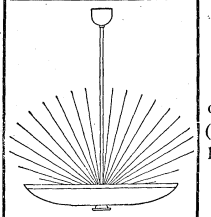
Indirekte Beleuchtung ist, abgesehen von vereinzelter Anwendung für Zeichensäle und Buchhaltereien, im allgemeinen nicht als Arbeitsbeleuchtung geeignet. Sie wird mit Vorliebe in Räumen mit hellen Decken und Wänden benutzt, in denen es auf eine gewisse feierliche oder erhabene Stimmung ankommt (z. B. in Empfangsräumen, Theatern, Lichtspielhäusern, Konzertsälen, Bildersammlungen).

Die in dem betreffenden Raum erforderliche mittlere Beleuchtungsstärke E wird aus Tafel 8 entnommen. Die Bodenfläche F ist bekannt. Der Beleuchtungswirkungsgrad η wird unter Berücksichtigung der gewählten Beleuchtungsart aus der nachstehenden Tafel 9 ermittelt.

Nachdem mit Hilfe obiger Formel der erforderliche Gesamtlichtstrom berechnet worden ist, muß die Lampenzahl ermittelt werden. Diese richtet sich nach der Größe des Gesamtlichtstromes, nach der Beleuchtungsart, Raumeinteilung, nach der Anzahl und Verteilung der Arbeitsplätze und schließlich nach architektonischen und ästhetischen Gesichtspunkten. Ist die Lampenzahl hiernach festgelegt, so wird der Gesamtlichtstrom durch diese Zahl dividiert, und man erhält so den auf jede Glühlampe entfallenden Teillichtstrom. Aus der Tafel 3 (S. 560) ergibt sich dann die Wattzahl der einzelnen Lampen. Diese ist eher etwas höher als niedriger zu wählen, da bei jeder Beleuchtungsanlage im Laufe der Zeit durch Alterung und Verschmutzung Lichtverluste auftreten und dadurch die Beleuchtungsstärke unter den errechneten Wert fällt.

Die Planung von Beleuchtungsanlagen mit Metalldampflampen erfolgt in gleicher Weise nach der Wirkungsgradmethode. Es ist nur für das jeweilige Anwendungsgebiet erst zu prüfen, ob die Metalldampflampe wegen ihrer Lichtfarbe geeignet ist.

Tafel 9. Wirkungsgrade für Allgemeinbeleuchtung von Innenräumen.
(Leuchtenabstand 1 bis 2 × Aufhängehöhe.)

Art der Beleuchtung	Halbdirekt		Vorwiegend direkt		Halbindirekt		Indirekt		Indirekt (Hohlkehle)
									
	Wirkungsgrad des Beleuchtungskörpers etwa								
	75 %		80 %		80 %		70 %		
	Raumbreite zu Aufhängehöhe*)	Wirkungsgrad η %	Raumbreite zu Aufhängehöhe*)	Wirkungsgrad η %	Raumbreite zu Deckenhöhe*)	Wirkungsgrad η %	Raumbreite zu Deckenhöhe*)	Wirkungsgrad η %	Wirkungsgrad η %
Decke hell, Wände mittelhell	1	25	1	17	0,6	14	0,6	11	15
	1,5	36	1,5	25	1	21	1	15	
	2,5	44	2,5	33	1,5	27	1,5	20	
	4	51	4	41	2,5	35	2,5	26	
	8	58	8	53	5	46	5	34	
Decke mittelhell, Wände dunkel	1	18	1	9	0,6	7	0,6	6	10
	1,5	30	1,5	16	1	13	1	8	
	2,5	40	2,5	23	1,5	17	1,5	11	
	4	47	4	30	2,5	24	2,5	16	
	8	54	8	41	5	33	5	22	

*) Die Höhe versteht sich über Meßebene, die 1 m über Fußboden liegt. Die Wirkungsgrade η gelten streng genommen nur für Räume mit quadratischem Querschnitt. Sie ergeben aber auch für langgestreckte Räume eine für die Praxis im allgemeinen ausreichende Genauigkeit, wenn zu den Werten ein Zuschlag von einigen Prozent gemacht wird.

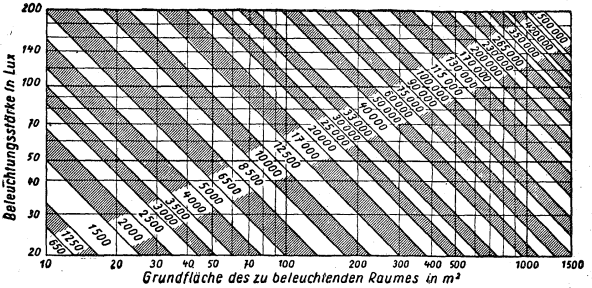
Zur Bestimmung des Lichtstromaufwandes für eine verlangte Beleuchtungsstärke bei gegebener Raumgrundfläche kann man auch nachstehende Tafel benutzen und liest wie folgt ab:

Auf der Grundlinie ist die Fläche in Quadratmeter aufgetragen, die Senkrechte zeigt die Beleuchtungsstärke in Lux. Der Schnittpunkt mit der Raumgrößenlinie liegt in einem Feld, das die aufzuwendende Lichtleistung in Lumen angibt.

Man teilt die so erhaltene Lumenzahl durch die vorher bestimmte Anzahl der Lichtquellen und erhält die Lumenzahl jeder einzelnen Leuchte.

Tafel 10. Lichtstromaufwand für halbindirektes Licht in Lumen (Hlm).

Für halbdirekt rd. —5%, vorwiegend direkt rd. —10%, indirekt rd. +25%. Zahlen der Schrägflächen = Gesamtlichtstrom in Hefnerlumen ($\eta = 0{,}4$).



Wattregel. Die einfachste Berechnungsart für überschlägliche Rechnungen (im Kopf), wie sie beispielsweise von Werbeingenieuren oft gemacht werden müssen, bildet die sogenannte Wattregel. In Räumen mit heller Decke und hellen Wänden ($\eta = 44\%$) liefern, bei Verwendung von Lampen 200...300 W, 10 W je Quadratmeter Bodenfläche bei 220 V eine Beleuchtungsstärke von 70 Lux, bei 110 V eine Beleuchtungsstärke von 80 Lux.

In dunkel ausgestatteten Räumen und für Lampen in geringeren Wattstärken erniedrigen sich die Luxwerte entsprechend. Die Wattregel gilt, wie bereits erwähnt, nur für Glühlampen von 200...300 W, also nicht ohne weiteres für Metalldampflampen.

Beispiel 1.

Für einen Büroraum ist eine Allgemeinbeleuchtung zu berechnen. Länge des Raumes 7,5 m, Breite 6 m, Bodenfläche 45 m², Höhe 3,4 m (über „Meßebene" 2,4 m), Decke weiß („hell"), Wände gelb („mittelhell"), Netzspannung 220 V.

Gesucht sind: 1. Art und Zahl der Leuchten;
2. Wattaufnahme bzw. Größe der Glühlampen.

Zuerst wird unter Berücksichtigung der Raumausstattung und der zu verrichtenden Arbeit die Art der Beleuchtung festgelegt. Da weiße Decke und gelbe Wände vorhanden und milde Schatten für die Büroarbeit vorteilhaft sind, wird halbindirekte Beleuchtung gewählt. Dann wird aus der Tafel 8 (Seite 571) die erforderliche mittlere Beleuchtungsstärke entnommen. Bei der Büroarbeit, die vielfach das Unterscheiden geringer Gegensätze (z. B. Schrift von Blei- oder Kopierstift auf Schreibpapier, hellgraue oder hellviolette Maschinenschrift auf Durchschlagpapier) erforderlich macht, handelt es sich um „feine Arbeit"; demnach wird eine mittlere Beleuchtungsstärke $E_m = 100$ Lux zugrunde gelegt.

Aus der Tafel 9 wird der Beleuchtungswirkungsgrad entnommen. Für halbindirekte Beleuchtung, helle Decke und mittelhelle Wände und für das vorhandene Raumverhältnis (Raumbreite : Deckenhöhe über Meßebene) 6:2,4 = 2,5 ist der Wirkungsgrad 35%. Da der Raum jedoch rechteckigen Querschnitt hat, wird er mit 36% eingesetzt. (Vergleiche Bemerkung in Tafel 9.)

Die beiden Werte $E_m = 100$ Lux und $\eta = 0{,}36$ werden jetzt in die obengenannte Formel für die erforderliche Lichtleistung eingesetzt.

$$\Phi = \frac{E \cdot F}{\eta} = \frac{100 \cdot 45}{0{,}36} = 12500 \text{ Lumen.}$$

Dieser Gesamtlichtstrom muß von einer zweckmäßigen Anzahl von Leuchten geliefert werden. Es werden vier Leuchten gewählt; auf jede Leuchte bzw. Glühlampe entfällt demnach ein Teillichtstrom von 12500:4 = 3125 Lumen. Nach der Tafel 3 (Seite 560) wird bei einer Netzspannung von 220 V ein Lichtstrom von 3220 Lumen

von einer Osram-Nitra-Lampe zu 200 W geliefert. Die hiermit sich ergebende Beleuchtungsstärke beträgt

$$E = \frac{\Phi \cdot \eta}{F} = \frac{12880 \cdot 0{,}36}{45} = 103 \text{ Lux.}$$

Beispiel 2.

Allgemeinbeleuchtung eines Werkraumes (Kraftfahrzeugzusammenbau).

Annahme: Raumgröße 30 × 12 m = 360 m², Raumhöhe 5,5 m, Anschlußspannung 220 V ~, Farbe der Decke weiß, der Wände hellgrau.

Zur Erzielung günstigster Sehbedingungen bei geringstem Leistungsaufwand wird Mischlicht verwendet. Lichtverteilung vorwiegend direkt. Die Lichtpunkthöhe kann bei 5,5 m Raumhöhe mit etwa 5 m eingesetzt werden. Zweckmäßig wird für eine gute Gleichförmigkeit und nicht zu starke Schattigkeit bei dieser Lichtpunkthöhe der Leuchtenabstand etwa 1:1 gewählt, und zwar bedingt dieser zwei Reihen Leuchten je fünf Stück mit 6 m Abstand. Die Beleuchtungsstärke soll 80 Lux betragen (mittelfeine Arbeit). Nach Tafel 10 erfordern 360 m² bei 80 Lux einen Lichtstrom von 75000 Hlm. Die Aufteilung erfolgt in 10 Leuchten.

Nach Tafel 4 erzeugt eine Lampe HgQ 500 ..... 5500 Lumen,
3 Glühlampen je 60 W (3 × 805 Hlm) ..... 2415 Lumen,
Gesamtstrom aus einer Leuchte ..... 7915 Lumen.

Bei 10 Leuchten mit dieser Bestückung würde also im Verhältnis 75000:79150 eine entsprechend höhere mittlere Beleuchtungsstärke erzielt werden, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß obiger aus Tafel 10 entnommener Lichtstrom für halbindirektes Licht gilt und sich die hier gewählte vorwiegend direkte Beleuchtung noch etwa 10% günstiger stellt.

Beispiel 3.

Beleuchtung eines Werkraumes mit Hg-Licht und Mischlicht.

Nachstehende **Tafel 11** gibt Aufschluß über Lichtausbeute und Leistungsfaktor bei reinem Hg- und bei Mischlicht.

Tafel 11.

Dampflampe	Zusätzl. Glühlampe W	Gesamt-Lichtstrom Hlm	Lichtausbeute rd. Hlm/W	Leistungsfaktor rd. cos φ	Anwendungsbeispiele
HgQ 300, 83 W cos φ = 0,54	—	3 300	39,5	0,54	Werkräume, Straßen, außerhalb von Ortschaften
Leistungsfaktor - Verbesserung durch parallelgeschaltete Kondensatoren von 3 µF auf cos φ = 0,7	75	4 360	27,5	0,7	Straßen innerhalb von Ortschaften
	100	4 810	26,5	0,8	Werkräume aller Art, ohne Voraussetzung von Farbbestimmungen
4 „ „ „ 0,75	150	5 580	24	0,85	
5 „ „ „ 0,8	200	6 520	23	0,9	Tageslichtähnliche Lichtfarbe für Industrie, Zeichensäle, Büros und Verkaufsräume
6,5 „ „ „ 0,85	300	8 550	22	0,94	
HgQ 500, 130 W cos φ = 0,54	—	5 500	42,5	0,54	Werkräume, Fernverkehrs- und Ausfallstraßen
Leistungsfaktor - Verbesserung durch parallelgeschaltete Kondensatoren von 5 µF auf cos φ = 0,7	100	7 010	30,5	0,75	Werkräume, Straßen innerhalb von Ortschaften
	150	7 780	28	0,8	Werkräume aller Art, ohne Voraussetzung von Farbbestimmungen
6 „ „ „ 0,75	200	8 720	26,5	0,85	
7 „ „ „ 0,8	300	10 750	25	0,9	Tageslichtähnliche Lichtfarbe für Industrie, Innenräume aller Art, Hauptverkehrsstraßen
8 „ „ „ 0,86	3 × 150	12 340	21,3	0,95	

Dampflampe	Zusätzl. Glühlampe W	Gesamt-Lichtstrom Hlm	Lichtausbeute rd. Hlm/W	Leistungsfaktor rd. cos φ	Anwendungsbeispiele
HgH 1000, 280 W cos φ = 0,58	—	11 000	39,5	0,58	Ausfallstraßen, Anleuchtungen
Leistungsfaktor - Verbesserung durch parallelgeschaltete Kondensatoren von 8 µF auf cos φ = 0,7 10 „ „ 0,75 13 „ „ 0,8 15,5 „ „ 0,85	100	12 510	33	0,7	Werkräume aller Art, ohne Voraussetzung von Farbunterscheidungen
	150	13 280	31	0,75	
	200	14 220	29,5	0,77	Städtische Straßen, Werkräume
	300	16 250	28	0,83	
	500	20 500	26,5	0,9	Ausstellungshallen, Versammlungsr. Farbe tageslichtähnl.
HgH 2000, 475 W cos φ = 0,58	—	22 000	46,5	0,58	Ausfallstraßen, Anleuchtungen
Leistungsfaktor - Verbesserung durch parallelgeschaltete Kondensatoren von 12 µF auf cos φ = 0,7 17 „ „ 0,75 21 „ „ 0,8 26 „ „ 0,85	150	24 280	39	0,69	Werkräume und Straßen aller Art, ohne Voraussetzung von Farbbestimmungen
	200	25 220	37,5	0,72	
	300	27 250	35	0,76	
	500	31 500	32,5	0,83	Tageslichtähnliche Lichtfarbe für Werkhallen, große Plätze und Hauptverkehrsstraßen in Großstädten
	750	37 300	30,5	0,88	
	1000	43 000	29	0,91	

Als Beispiel sei die Beleuchtung eines Werkraumes von 360 m² Grundfläche und einer üblichen Höhe von 5 bis 8 m angenommen. Aus Tafel 10 (Seite 557) ergibt sich für die Beleuchtungsstärke von 70 Lux ein benötigter Lichtstrom von etwa 65000 lm. Der Werkraum wäre also beispielsweise durch 12 Tiefbreitstrahler mit 300-W-Glüh-Lampen, die einen Lichtstrom von $12 \cdot 5250 = 63000$ lm erzeugen, richtig beleuchtet.

Unter Verwendung von ebenfalls 12 Quecksilberdampflampen der Bauform HgQ 500 von je 5500 lm würde ein Lichtstrom von insgesamt 66000 lm, also 4,5% mehr erreicht werden.

Für den Fall, daß reine Quecksilberdampflampen-Beleuchtung nicht zweckmäßig erscheint, wäre eine Mischlichtbeleuchtung zu wählen, die unter Verwendung von 8 Leuchten mit je einer Quecksilberdampflampe HgQ 500 (je 5500 lm) und je zwei 100-W-Glühlampen (je 1510 lm) je Leuchte 8520 lm und insgesamt 68160 lm erzeugt, d. h. 8,2% mehr als die Glühlampenbeleuchtung.

Schaufensterbeleuchtung.

Diese kann ebenfalls nach der Lichtstrommethode (Wirkungsgradmethode) berechnet werden. Eine wesentlich schnellere Ermittlung des erforderlichen Wattverbrauches ist an Hand der Tafel 12 möglich. Die hier angegebenen Werte gelten für 1 m Schaufensterbreite, da der Verbrauch eines Schaufensters praktisch verhältnisgleich der Breite (Straßenfront) in Metern ist. In diesen Werten, die nur für Glassilberspiegel gelten, sind die für Schaufenster zu beachtenden Grundsätze berücksichtigt. Z. B. muß ein Schaufenster mit dunklen Pelzen viel stärker beleuchtet werden als ein solches mit weißer Wäsche. Ferner ist beachtet, daß das Schaufenster eines Großkaufhauses, dessen Umgebung an sich schon sehr hell beleuchtet ist, viel stärker beleuchtet werden muß als ein Schaufenster in einer dunklen Seitenstraße.

Tafel 12. Wattverbrauch für 1 m Schaufensterbreite bei einer Tiefe bis zu 2 m.

Waren	Lage des Schaufensters				
	Dunkle Seiten-straßen	Kleine Geschäfts-straßen	Kleinstädt. Haupt-gesch.-Str.	Großstädt. Geschäfts-straßen	Groß-Kaufhaus
weiße Stoffe, Silber, Porzellan	40 60	75 100	100 150	120 180	150 200
hellfarbige Stoffe, Damenwäsche	60 75	100 150	120 180	150 200	200 300
mittelfarbige Stoffe, Möbel, Obst, Metalle	75 100	120 180	180 200	200 300	300 400
dunkle Stoffe, Kolonialwaren	100 150	150 200	200 300	300 400	400 600
schwarze Stoffe, Pelze, Mäntel	150 200	200 300	300 400	400 600	600 800

In bezug auf die Ausführung einer neuzeitlichen Schaufensterbeleuchtung sei noch erwähnt, daß sie nach den Grundsätzen der Bühnenbeleuchtung, deren wichtigste hier kurz zusammengefaßt sind, erfolgt:

1. Jede Lichtquelle muß von außen unsichtbar sein.
2. Je heller die Umgebung, desto heller müssen die Waren beleuchtet sein.
3. Blendung ist unter allen Umständen zu vermeiden, da sie ablenkt und die Besichtigung erschwert.
4. Jede Warenart, ihr Aufbau und die Schaufensterform verlangen bestimmte Leuchten, eine starke Lichtquelle ergibt nicht immer eine gute Beleuchtung.
5. Je dunkler der Rahmen des Schaufensters, je größer der Gegensatz, desto besser die Wirkung.

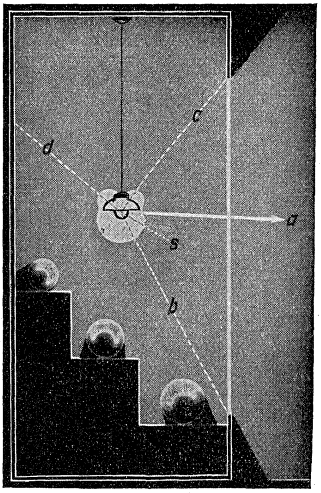


Bild 37. Falsche Anordnung einer Schaufensterbeleuchtung. a Sehr starke Blendung, b—c großer Lichtverlust zur Straße, c—d Lichtverlust an Decke und Wänden, b—d ausgenutzter Lichtstrom.

In den Bildern 37 und 38 ist eine falsche und eine richtige Anordnung einer Schaufensterbeleuchtung dargestellt. Der Einbau der Spiegel sollte stets so erfolgen, daß sie für den Beschauer nicht sichtbar sind und auch kein von der Rückwand durch Glas oder spiegelnde Flächen reflektiertes Licht den Beschauer treffen kann (Bild 39). Schwierigkeiten wegen der Abblendung und Unsichtbarmachung der Spiegel bieten oft Eckschaufenster. Hier werden

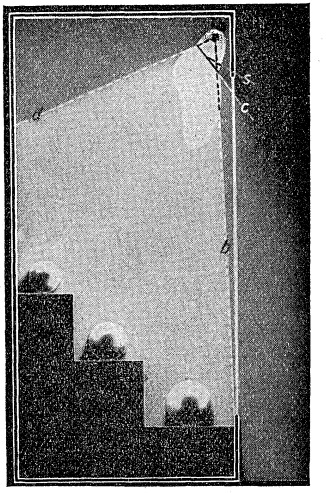


Bild 38. Richtige Anordnung einer Schaufensterbeleuchtung. b—c praktisch kein Lichtverlust zur Straße, c—d kein Lichtverlust an Decke und Wänden, b—d ausgenutzter Lichtstrom.

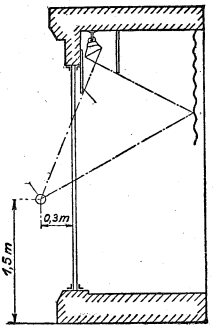
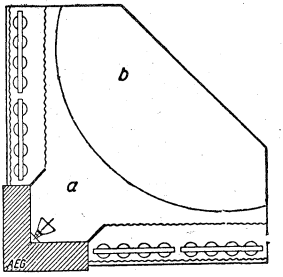


Bild 39. Schematische Darstellung einer nicht sichtbar angeordneten Schaufensterbeleuchtung.

sowohl vor als auch hinter den Leuchten schmale Vorhänge gezogen, die erstere verdecken (Bild 40). Wenn die Vorhänge nicht helfen, empfiehlt sich eine Trennung der Leuchten durch eine Querabdeckung, damit die Lichtquellen auch von der Seite unsichtbar sind.

Sehr störend macht sich oft die Spiegelung der Straße in der Schaufensterscheibe, besonders bei bestimmtem Sonnenstand am Tage, bemerkbar. Die Spiegelung kann so stark werden, daß von dem Innern des Schaufensters nichts mehr zu erkennen ist. Meistens liegt es an dem zu dunklen Hintergrund oder an der zu großen Tiefe des Schaufensters. Man muß dann, wo es angängig ist, den Hintergrund möglichst hell halten; andernfalls ist auch am Tage die künstliche Beleuchtung einzuschalten, um das allzu starke Tageslicht auszugleichen.



a = Raum für tiefen Aufbau,
b = Raum für hohen Aufbau.

Bild 40. Zweckmäßige Abblendung der Leuchten in Eckschaufenstern.

Für Schaufensterbeleuchtung kommt in erster Linie als Lichtquelle die Glühlampe in Betracht. Bei großen Schaufenstern kann man auch die Quecksilberdampflampe mit Glühlampenzusatzlicht benutzen. Diese Mischlichtbeleuchtung mit ihrer tageslichtähnlichen Lichtfarbe gibt für manche Waren wie Glas, Kristall, Porzellan, Metall und Weißwaren, eine weit bessere Wirkung als das gelbliche Licht der Glühlampe.

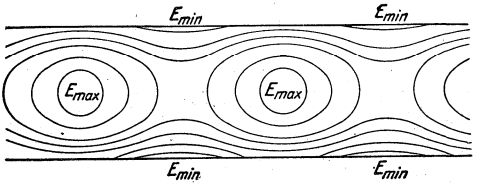


Bild 41. Lage der größten und kleinsten Beleuchtungsstärke bei Straßenbeleuchtungen.

Freie Räume.

Punktweise Berechnung. Die Beleuchtung freier Räume, insbesondere die Straßenbeleuchtung, wird nicht nur nach der mittleren waagerechten Beleuchtung, sondern auch nach der Gleichmäßigkeit gewertet. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung nimmt zu mit abnehmendem Lampenabstand und mit zunehmender Aufhängehöhe. Die Lage der Punkte der kleinsten (E_{min}) und der größten Beleuchtungsstärke (E_{max}) ist je nach der Anordnung der Lampen verschieden, grundsätzlich ähneln aber alle Fälle dem Bild 41. Die darin eingezeichneten Kurven bilden Linien gleicher Beleuchtungsstärke (Isoluxen), die größten Werte liegen unter den Lampen, die kleinsten seitlich zwischen den Lampen.

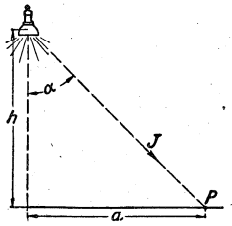


Bild 42. Zeichnung zur Berechnung der Beleuchtungsstärke im Punkte P.

Die Beleuchtung erfolgt nach Maßgabe des Winkels, unter dem der von der Lichtquelle ausgehende Lichtstrahl die Straßenoberfläche an dem zu berechnenden Punkt trifft. Bezeichnet man (vgl. Bild 42) die Aufhängehöhe über Meßebene der Leuchte mit h in m, die Lichtstärke des nach dem Punkt P gerichteten Lichtstrahles mit $I\alpha$ in HK, den Winkel zwischen h und I mit α und den waagerechten Abstand des Punktes P vom Lampenfußpunkt mit a in m, so ist die waagerechte Beleuchtung in Lux am Punkte P

$$E = \frac{I\alpha \cdot h}{\sqrt{(a^2 + h^2)^3}} = \frac{I\alpha \cdot \cos^3\alpha}{h^2}$$

Diese Formeln gestatten die Beleuchtungsstärke einer waagerechten Fläche an beliebiger Stelle zu berechnen. Wirken mehrere an verschiedenen Stellen aufgehängte Lampen gemeinsam zur Beleuchtung eines Punktes, so muß für jede Lampe die waagerechte Beleuchtung dieses Punktes berechnet werden. Die so ermittelten Werte sind dann zu addieren, um die tatsächliche waagerechte Beleuchtung des Punktes zu erhalten. Zur Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärke einer Fläche muß für eine genügende Anzahl gleichmäßig verteilter Punkte die Beleuchtungsstärke berechnet und aus diesen Ergebnissen der Mittelwert gebildet werden.

Die Rechnung wird erleichtert durch die Tafel 13. Sie enthält für verschiedene Lichtpunkthöhen über Meßebene h und für verschiedene Abstände a die ausgerechneten Beleuchtungsstärken E unter der Voraussetzung, daß die Lichtstärke I_α für alle Ausstrahlungswinkel α 1000 HK beträgt. Bei Benutzung der Tafel sind die für verschiedene Aufhängehöhen und Abstände abgelesenen Beleuchtungswerte entsprechend den aus der Lichtverteilungskurve der verwendeten Leuchte (Bild 43—46) abgelesenen Lichtstärken und der Größe der Lampen umzurechnen.

Die Planungsmethode der punktweisen Berechnung oder der Berechnung nach der Tafel 13 gilt sowohl für Glühlampen als auch für Metalldampflampen. Wichtig ist nur, daß man bei Benutzung der Metalldampflampen auf das Anwendungsgebiet achtet. So sind z. B. Natriumdampflampen nicht für städtische Straßenbeleuchtung, sondern nur für die Beleuchtung von Ausfall- oder Autostraßen mit geringem oder gar keinem Fußgängerverkehr geeignet, während die Quecksilberdampflampen sowohl für Ausfall- und Autostraßen als auch für städtische Straßenbeleuchtung verwendet werden können.

Tafel 13. Beleuchtungsstärken E in Lux für eine Lichtstärke von I = 1000 HK.

Nach Bertelsmann, Rechentafeln für Beleuchtungstechniker

Abstand a	h = 4 m		h = 5 m		h = 6 m		h = 7 m		h = 8 m		h = 9 m		h = 10 m	
	α	E	α	E	α	E	α	E	α	E	α	E	α	E
0	0°	62,5	0°	40,0	0°	27,8	0°	20,4	0°	15,60	0°	12,35	0°	10,0
1	14°	57,1	11°	37,7	10°	26,65	8°	19,80	7°	15,25	6°	12,15	6°	9,85
2	27°	44,7	22°	32,0	19°	23,70	16°	18,15	14°	14,25	13°	11,50	11°	9,43
3	37°	32,0	31°	25,2	27°	19,90	23°	15,85	21°	12,85	19°	10,55	17°	8,79
4	45°	22,1	39°	19,05	34°	16,00	30°	13,35	27°	11,20	24°	9,42	22°	8,00
5	51°	15,25	45°	14,15	40°	12,60	36°	11,00	32°	9,53	29°	8,25	27°	7,16
6	56°	10,65	50°	10,5	45°	9,82	41°	8,93	37°	8,00	34°	7,11	31°	6,31
7	60°	7,65	55°	7,86	49°	7,66	45°	7,22	41°	6,66	38°	6,07	35°	5,50
8	64°	5,59	58°	5,96	53°	6,00	49°	5,83	45°	5,52	42°	5,15	39°	4,76
9	66°	4,19	61°	4,58	56°	4,74	52°	4,72	48°	4,58	45°	4,36	42°	4,11
10	68°	3,2	64°	3,58	59°	3,78	55°	3,85	51°	3,81	48°	3,70	45°	3,54
12	72°	1,975	67°	2,275	64°	2,485	60°	2,61	56°	2,665	53°	2,665	50°	2,625
14	74°	1,295	70°	1,525	67°	1,700	64°	1,825	60°	1,910	57°	1,950	55°	1,965
16	76°	0,892	73°	1,060	70°	1,200	66°	1,315	64°	1,400	61°	1,455	58°	1,490
18	78°	0,638	75°	0,767	72°	0,878	69°	0,972	66°	1.045	64°	1,105	61°	1,145
20	79°	0,471	76°	0,571	73°	0,659	71°	0,736	68°	0,800	66°	0,853	64°	0,894
22	80°	0,358	77°	0,435	75°	0,506	72°	0,569	70°	0,624	68°	0,670	66°	0,709
26	81°	0,215	79°	0,269	77°	0,316	75°	0,359	73°	0,397	71°	0,432	69°	0,463
30	82°	0,144	81°	0,178	79°	0,210	77°	0,239	75°	0,267	73°	0,293	72°	0,316
40	84°	0,062	83°	0,076	82°	0,091	80°	0,104	79°	0,118	77°	0,131	76°	0,143
50	85°	0,032	84°	0,039	83°	0,047	82°	0,051	81°	0,062	80°	0,069	79°	0,075
60	86°	0,018	85°	0,023	84°	0,027	83°	0,032	82°	0,036	82°	0,040	81°	0,044

Beispiel 1.

Die Beleuchtungsstärke eines Punktes P, der sich in einem Abstand a = 10 m vom Lampenfußpunkt befindet, soll berechnet werden. Der Tiefbreitstrahler mit einer Lampe von 300 W, 220 V ist in 10 m Höhe (also 9 m über Meßebene) angebracht.

Aus Tafel 13 wird bei a = 10 m und h = 9 m für 1000 HK eine Beleuchtungsstärke $E\alpha = 3{,}70$ Lux und ein Winkel $\alpha = 48^0$ entnommen. Nach Bild 44 beträgt für diesen Winkel für Lampen von 1000 lm $I\alpha = 170$ HK. Ferner wird aus Tafel 3 (Seite 560) für eine Lampe von 300 W bei 220 V ein Lichtstrom $\Phi = 5250$ lm entnommen. Die Beleuchtungsstärke im Punkte P beträgt demnach

$$E = \frac{E\alpha \cdot I\alpha}{1000} \cdot \frac{\Phi}{1000} = \frac{3{,}70 \cdot 170}{1000} \cdot \frac{5250}{1000} = 3{,}3 \text{ Lux}$$

Beispiel 2.

Eine Straße mit mittlerem Verkehr soll durch geschlossene Breitstrahler beleuchtet werden. Die Lampen werden in 9 m Höhe (also 8 m über Meßebene) über Straßenmitte in einem Abstand von 40 m voneinander aufgehängt Die Beleuchtungsstärke soll in der Mitte zwischen zwei Lampen 2 Lux betragen. Die Spannung beträgt 220 V. Wie groß müssen die Lampen sein?

Aus Tafel 13 wird bei a = 20 m und h = 8 m eine Beleuchtungsstärke $E\alpha = 0{,}8$ Lux und ein Winkel $\alpha = 68^0$ entnommen. Für diesen Winkel wird aus Bild 45 eine Lichtstärke $I\alpha = 82$ HK entnommen. Da die Beleuchtungsstärke in der Mitte zwischen zwei Lampen 2 Lux betragen soll, so ist für jede Lampe E = 1 Lux zu rechnen. Die Lampen müssen bei diesen Angaben einen Lichtstrom haben von

$$\Phi = \frac{E \cdot 1000 \cdot 1000}{E\alpha \cdot I\alpha} = \frac{1 \cdot 1000 \cdot 1000}{0{,}8 \cdot 82} = 15250 \text{ lm.}$$

Nach Tafel 3 (Seite 560) sind demnach bei 220 V Nitralampen von 750 W (15300 lm) zu verwenden. An Stelle dieser Lampen können auch je eine Quecksilberdampflampe HgH 1000 mit einem Wattverbrauch von 275 W (10000 lm) und eine Nitralampe von 300 W (5250 lm) verwendet werden, die bei gleicher Beleuchtungsstärke einen um 23% geringeren Wattverbrauch haben.

Lichtverteilungskurven für Leuchten mit Lampen von 1000 lm.

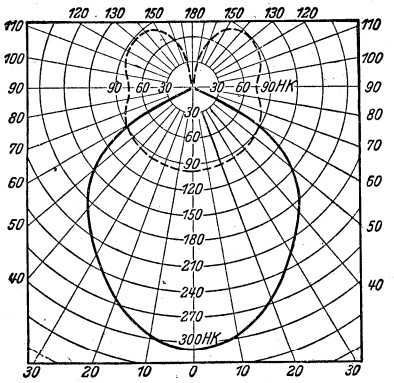


Bild 43. Tiefstrahlende Leuchten.

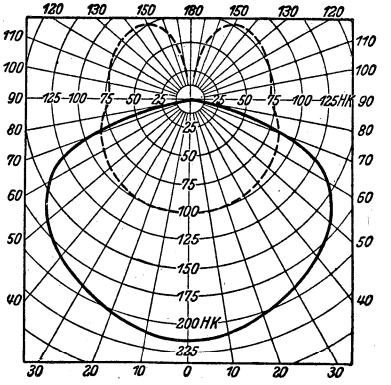


Bild 44. Tiefbreitstrahlende Leuchten.

Flutlichtanlagen.

Unter Flutlichtgeräten versteht man Scheinwerfer oder scheinwerferähnliche Leuchten zur Anleuchtung von Hausfassaden, Werbeflächen, Denkmälern, Kirchtürmen oder anderen Gebäudeteilen.

Hierbei hängt der notwendige Wattverbrauch hauptsächlich von der Farbe oder dem Reflexionsvermögen des betreffenden Gegenstandes und von der Art des Hintergrundes oder der Umgebung ab.

Grundsätzlich ist ein heller Gegenstand auf dunklem Hintergrund immer günstiger als ein dunkler Gegenstand in hellbeleuchteter Umgebung. Ein weißes Marmordenkmal in einem dunklen Park würde also den geringsten Aufwand an Scheinwerfern und Strom

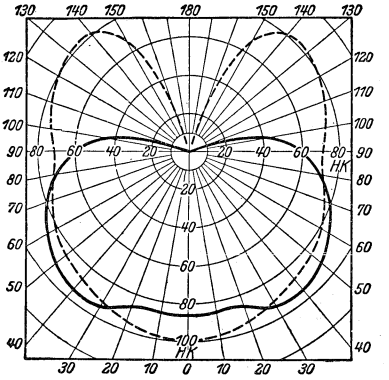


Bild 45. Breitstrahlende Leuchten.

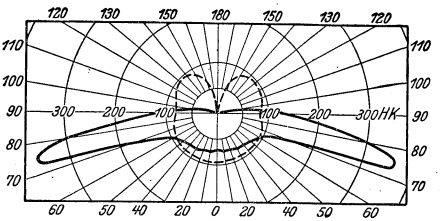


Bild 46. Bandförmige Lichtverteilung.

erfordern, während ein Haus aus dunkelgrauen, verwitterten Steinen in einer an sich schon hellen Geschäftsstraße nur dann wirkungsvoll angeleuchtet werden kann, wenn der Wattverbrauch keine ausschlaggebende Rolle spielt.

Wie groß die Unterschiede in den erfahrungsgemäß notwendigen Beleuchtungsstärken sind, zeigt am besten die Tafel 14. Man kann aus dieser z. B. ablesen, daß ein Haus aus grauem Sandstein in einer wenig beleuchteten Gegend eine Beleuchtungsstärke von etwa 50 Lux erhalten muß, um gut zur Wirkung zu kommen.

Tafel 14. Erforderliche Beleuchtungsstärken bei Anleuchtung von Bauten.

Objekt, Farbe des Baumaterials	Lage und Umgebung oder Hintergrund				
	Park, Nachthimmel, unbeleuchtete Straßen	Schwachbeleuchtete Straßen (2 Lux)	Mittlere Verkehrsbeleuchtung (5—6 Lux)	Gut beleuchtete Hauptstraßen (10-15 Lux)	Viel Lichtwerbung, helle Schaufenster usw.
	Beleuchtungsstärken etwa Lux				
Anstrich weiß, Silber, Gold, Messing blank, Marmor ...	10	20	30	40	50
Anstrich hell, Metalle matt, Patina.....	20	35	50	65	85
Anstrich mittelfarbig, Gelbsandstein, Beton oder Ziegelhellgrau	30	50	70	95	120
Anstrich, dunkel, rote Ziegel, Rotsandstein oder Backstein	40	65	95	130	160
Verwitterte dunkle Steine, braune Ziegel usw.	50	85	120	160	200

In den meisten Fällen handelt es sich um die Anleuchtung aufrechtstehender (senkrechter) Flächen oder Flächenteile. Der höchste Wirkungsgrad wird immer bei senkrecht auftreffendem Licht, also bei waagerecht liegenden Scheinwerferachsen erreicht. Je nach der Entfernung, in welcher sich die Scheinwerfer von dem Gegenstand befinden, ist die Art der Flutlichtgeräte zu wählen.

Bis 20 m kommt man im allgemeinen mit Emailgeräten aus (Bild 33). Jedes Gerät erzeugt eine Art Lichtkegel von bestimmter Streuung, so daß für jede Entfernung ein bestimmter Kreisdurchmesser mit einer von dem Lichtstrom der Lampe abhängigen mittleren Beleuchtungsstärke (Lux) ausgeleuchtet wird. Für Emailgeräte ohne oder mit klarem Abschlußglas gilt die Tafel 15.

Meistens kommen rechteckige Flächen in Frage, so daß es sich empfiehlt, letztere bei der Planung so einzuteilen bzw. zu unterteilen, daß die aus Tafel 15 bestimmten Kreisdurchmesser sich an den Rändern etwas überschneiden, damit die ganze Fläche ein gleichmäßiges Aussehen bekommt (Bild 47).

Tafel 15. Flutlichtgeräte mit Emailreflektor für Entfernungen bis 20 m.

Osram-Nitra-Lampen		Beleuchtungsstärke in Lux nahe der Kreismitte für Entfernungen von m							
W	V	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
2000	110	1700	430	200	110	70	50	35	27
	220	1600	400	190	102	68	45	33	26
1500	110	1200	300	135	74	50	33	24	18
	220	1100	280	130	70	45	31	23	17
1000	110	760	190	85	48	32	21	15	12
	220	700	175	80	44	30	20	14	11
750	110	560	140	64	35	24	16	11,5	8,7
	220	520	130	60	33	22	14,5	10,5	8
500	110	400	100	45	25	17	11	8	6
	220	370	90	40	23	15	10	7,5	5,8
300	110	225	56	26	14	9,5	6,2	4,6	3,5
	220	200	50	23	12,5	8,5	5,5	4	3
200	110	140	55	16	8,6	5,7	3,8	2,8	2,1
	220	120	30	13,5	7,5	5	3,3	2,5	1,9
150	110	95	24	11	6	4	2,7	2	1,5
	220	80	20	9	5	3,5	2,2	1,7	1,2
ø des ausgeleuchteten Kreises in m		2,5	6	8,5	12	15	17,5	20	23

Für größere Entfernungen (bis etwa 150 m) reichen Scheinwerfer mit Osram-Nitra- oder Projektionslampen nicht mehr aus. Hierfür sind besonders gebaute Flutlichtgeräte für Sonderglühlampen erforderlich (Bild 34). Für diese Geräte gilt die Tafel 16. Mit zunehmenden Entfernungen wachsen der Aufwand an elektrischer Energie und die Anschaffungskosten unter sonst gleichen Bedingungen.

Tafel 16. Flutlichtgeräte mit Glassilberspiegel für Entfernungen über 20 m.

Glühlampe		Mittlere Beleuchtungsstärke in Lux für Entfernungen von m								
W	V	30	40	50	60	70	80	90	100	120
Mit Dreifachwendel-Sonderlampe										
1000	110	300	180	120	85	60	45	33	28	23
ø des ausgeleuchteten Kreises in m		4,2	5,6	7	8,4	9,8	11,2	12,6	14	17
Mit Scheinwerfer-Lampe										
1000	110	130	75	48	32	23,5	18	14	12	8
	220	120	70	45	30	22	17	13	11	7,5
500	110	60	35	22	15	11	8,5	6,5	5,5	3,75
	220	54	32	18	13,5	10	7,5	6	5	3,4
ø des ausgeleuchteten Kreises in m		6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	16,8	19	21	25

An Stelle von Glühlampen können auch, sofern die Gegenstände mit Rücksicht auf die Lichtfarbe der Metalldampflampen geeignet sind, die Natrium- oder Quecksilberdampflampen verwendet werden. Bei den Anleuchtungen mit Metalldampflampen eignen sich weiße oder gelblich getönte Fassaden vorzüglich für Natriumdampflicht, da diese Flächen in einem goldgelben Farbton erscheinen. Bei Verwendung der Queck-

silberdampflampen wird mit der bläulichweißen Lichtfarbe die beleuchtete Fläche in einem besonders guten Gegensatz zur Umgebung gebracht. Durch den Reichtum an grünen Strahlen im Quecksilberdampflicht läßt sich eine ausgezeichnete Wirkung bei Anleuchtung von Baumgruppen, Grasflächen usw. erzielen.

Beispiel. Eine Hausvorderseite von 20 m Länge und 15 m Höhe aus gelbem Sandstein in einer schwach beleuchteten Umgebung soll wirkungsvoll angeleuchtet werden. Die betreffende Fläche liegt so, daß 6 m vor derselben Maste und Flutlichtgeräte angebracht werden können.

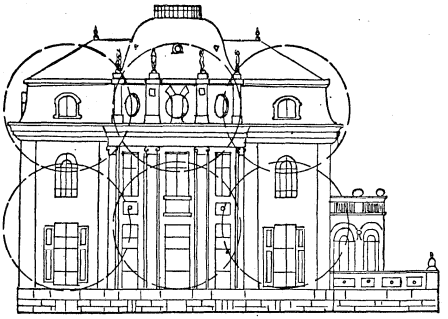


Bild 47. Anleuchtung eines Gebäudes mit 6 Flutlichtgeräten.

Nach Tafel 14 sind als Beleuchtungsstärke 50 Lux erforderlich. Für den Abstand von 6 m ergibt sich mit Hilfe der Tafel 16, daß von je einem Flutlichtgerät auf der Hausfassade ein Kreis von etwa 6,5 m nahezu gleichmäßig ausgeleuchtet wird. Demnach sind gemäß Bild 47 mindestens 6 Flutlichtgeräte erforderlich, deren Lichtkegel gleichmäßig über die Fassade verteilt werden müssen. Um die erforderliche mittlere Beleuchtungsstärke von 50 Lux zu bekommen, muß nach Tafel 15 jedes Gerät mit einer Osram-Nitralampe von mindestens 300 W oder besser 500 W ausgerüstet werden.

Leuchtröhrenanlagen.

Unter Gasentladungsröhren sind gasgefüllte Glasröhren zu verstehen, die mit einem unter geringem Druck stehenden Gas angefüllt sind und an den Enden mit Elektroden für den Stromübergang vom Leiter zur Gassäule versehen sind (VDE-Regeln für Leuchtröhrenanlagen und Leuchtröhrengeräte). In den Leuchtröhren wird das Licht nicht durch Wärme, also hohe Temperaturen, sondern wie bei den Geißlerschen Röhren durch Gasentladung erzeugt. Die Erwärmung der Röhren ist daher nur sehr gering, und zwar beträgt die Oberflächentemperatur etwa 35° C. Die Elektroden haben eine Temperatur von etwa 150° C. Die Leuchtröhren werden mit Wechsel- oder Drehstrom von 50 Hz betrieben. Man unterscheidet je nach der Art des verwendeten Füllgases:

Leuchtröhrenanlagen mit **edlen Gasen** (Neon, Helium, Argon) für Betriebsspannungen bis 6 kV. Die Lichtfarbe ist hierbei für Neon stark orangerot, Neon mit Quecksilberzusatz blau (Königs- oder Azurblau), Neon mit Quecksilberzusatz in gelb-grünem Glasrohr grün, Helium weiß-rosa, Helium in gelbem Glasrohr gelb. Argon wird nur als Zusatz verwendet.

Leuchtröhrenanlagen mit **unedlen Gasen** (Stickstoff, Kohlendioxyd, Wasserstoff) für Betriebsspannungen bis etwa 25 kV (Moorelichtanlagen). Hierbei ergibt Stickstoff eine gelb-rosa Lichtfarbe, Kohlendioxyd eine bläulich-weiße Lichtfarbe, die dem Tageslicht am nächsten kommt.

Edelgas-Leuchtröhren werden mit 10, 13, 17, 22, 30 und 45 mm äußerem Durchmesser verwendet. Die gebräuchlichste Rohrstärke ist 22 mm. Sie benötigen bei 8 mm Rohrdurchmesser etwa 1000 V Betriebsspannung, die mit zunehmendem Rohrdurchmesser niedriger wird und bei 30 mm etwa 400 V je Meter Rohr beträgt. Die Zündspannung liegt je nach Rohrdurchmesser und Belastung bei 400 . . . 1000 V je Meter Rohr. Da nach den VDE-Vorschriften nicht mehr als 6 kV zulässig sind, kann man je nach dem Rohrdurchmesser höchstens etwa 3 bis 17 m Rohr in einem Stromkreis betreiben, d. h. die Schriftzeichen, Linien usw. müssen entweder aus einem Stück dieser Länge gebildet oder aus kürzeren Stücken zu dieser Länge hintereinander

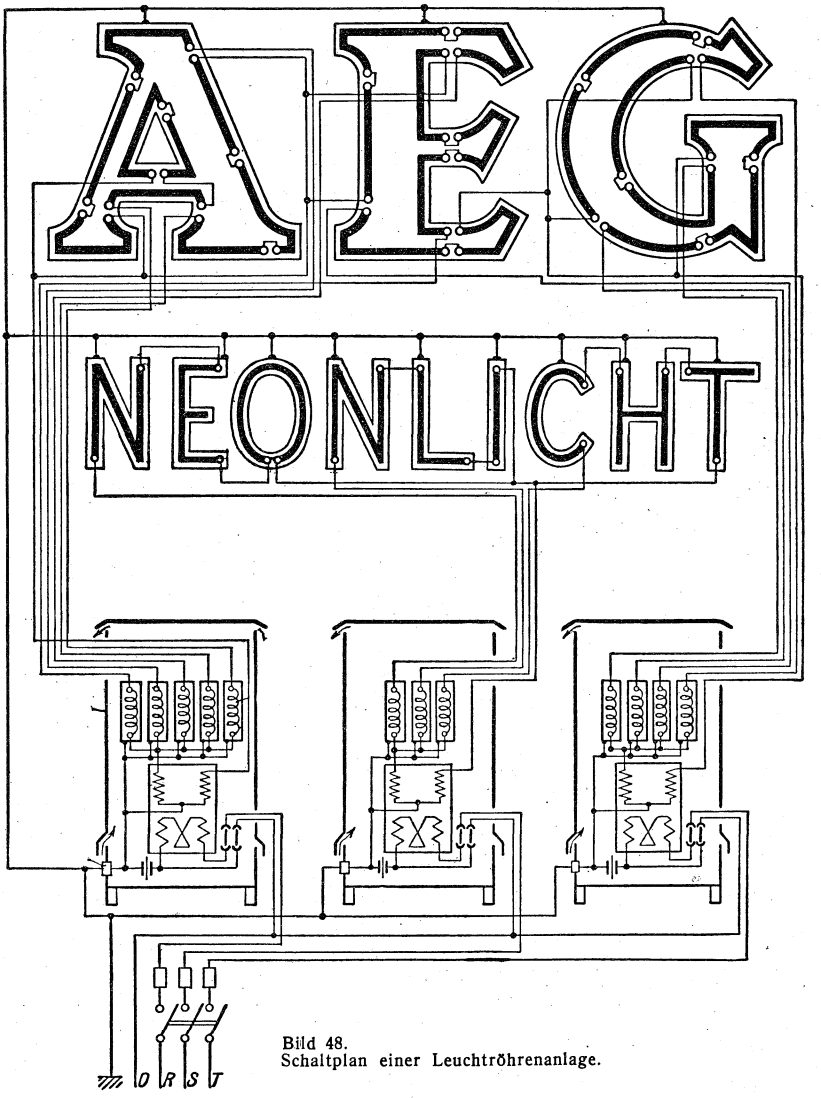


Bild 48.
Schaltplan einer Leuchtröhrenanlage.

geschaltet werden. Die Oberspannungs-Stromkreise werden dann in Parallelschaltung an den Umspanner angeschlossen. Der Wattverbrauch beträgt je nach dem Durchmesser der Rohre etwa 30 bis 50 W je lfd. m bei einer durchschnittlichen Lichtausbeute von 12 bis 18 lm/W.

Wegen der zulässigen Unterteilung der Stromkreise in einzelne kurze Rohrlängen und wegen der besonders bei den kleineren Durchmessern leichten Formgebung sind

Edelgas-Leuchtröhren hauptsächlich für Leuchtbuchstaben und andere Arten von Werbezeichen geeignet. Die Röhren können bis zu Längen von 2,5 m angefertigt werden.

Zur Erzeugung der Hochspannung dienen Umspanner, deren Leistungen zwischen 0,2 bis 3 kVA betragen. Werden größere Leistungen erforderlich, so werden mehrere Umspanner an die (Niederspannungs-) Stromquelle angeschlossen. Da die Leerlaufspannung des Umspanners gleich der Zündspannung sein muß, nach dem Zünden aber die geringere Betriebsspannung erforderlich ist, so wird zur Herstellung dieses Unterschiedes außerdem ein Widerstand oder eine Drosselspule benötigt. Diese kann entweder in den Niederspannungskreis, also vor den Umspanner geschaltet werden, oder es wird, wie es meistens geschieht, je eine in jedem Oberspannungsstromkreis angeordnet. Bei den neuerdings verwendeten Streufeldumspannern besonderer Bauart sind Drosselspulen nicht mehr erforderlich.

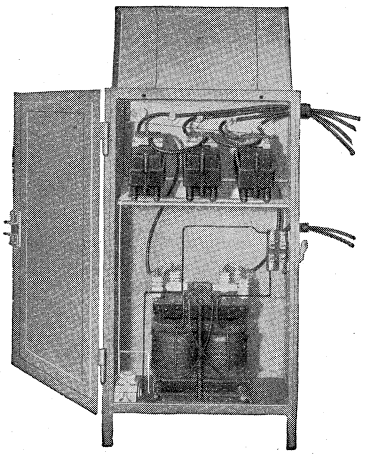
Die Umspanner werden stets in Schutzkästen aus Eisen eingebaut. In jedem Fall muß die Stromzuführung (Niederspannung) über einen Trennschalter erfolgen, der bei Öffnung der Tür des Schutzkastens selbsttätig die Stromzufuhr unterbricht. Die zwangsläufige Abtrennung des Primärkreises kann bei kleinen (Einbau-) Umspannern unterbleiben. Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß an jedem Umspanner nur ein Rohrsystem angeschlossen ist, daß die Elektroden dieses Systems mit dem Umspanner in einem gemeinsamen, nur durch Werkzeug oder Bartschlüssel zu öffnenden Schutzgehäuse untergebracht sind und daß die Anlage der Allgemeinheit nicht ohne weiteres zugänglich ist.

Bild 49 und 50 zeigen einen Umspanner mit Drosselspulen im Schutzkasten (offen und geschlossen) und Bild 48 einen Gesamtschaltplan einer Leuchtröhrenanlage mit drei Umspannern von dem Niederspannungsanschluß ab bis zu den unterteilten Leuchtröhren.

Alle Kästen dürfen nur durch Werkzeug oder einen Bartschlüssel (nicht Steckschlüssel) geöffnet werden können.

Für die Sekundärwicklungen der Umspanner gelten folgende Bestimmungen:

Bei Nennsekundärspannungen bis 3 kV kann die Sekundärwicklung ohne Verbindung mit dem Gehäuse, einpolig mit dem Gehäuse oder in ihrem Mittelpunkt (Sternpunkt) mit dem Gehäuse verbunden sein. Bei Nennsekundärspannungen von mehr als 3 bis 6 kV kann die Sekundärwicklung ohne Verbindung mit dem Gehäuse oder in ihrem Mittelpunkt (Sternpunkt) mit dem Gehäuse verbunden sein.



Anordnung von Umspanner und Drosselspulen im Schutzkasten.
Bild 49. Schutzkasten offen.

Alle nicht Spannung führenden Metallteile einer Leuchtröhrenanlage, z. B. Eisenteile von Umspannern, Schutzhüllen von Leitungen auf der Sekundärseite, Schutzkasten von Umspannern, Drosselspulen, Kondensatoren, Widerstandsgeräten und Elektroden sowie Einzelteile von Eisengerüsten, die bei einem Isolationsfehler Spannung annehmen können, sind an eine gemeinsame Schutzleitung an-



Bild 50. Schutzkasten geschlossen.

zuschließen. Offen verlegte Schutzleitungen sollen in Fällen besonderer mechanischer Gefährdung einen Kupferquerschnitt von mindestens 16 mm² haben.

Wird ein Punkt des Sekundärstromkreises betriebsmäßig geerdet, so ist er mit den dann ebenfalls zu erdenden Eisenteilen der Umspanner zu verbinden.

Der Einbau von Edelgas-Leuchtröhrenanlagen geschieht unter Vorschaltung von Stromsicherungen (Schmelzsicherungen oder Selbstschalter) und eines Schalters mit erkennbarer Schaltstellung. Beides soll in der Nähe der Umspanner angebracht und als zur Leuchtröhrenanlage gehörend in haltbarer Weise gekennzeichnet werden. Die Verlegung der Oberspannungsleitungen zwischen Umspanner und Leuchtröhren erfolgt in geerdeten Stahlpanzerrohren, in welche litzenförmige Einfachleitung mit Spezialgummiader NLR 1,5 mm² eingezogen wird. Die Stahlpanzerrohre sind gutleitend unter sich oder jede einzelne Rohrlänge mit der Erdungsleitung zu verbinden. Man verwendet für diese Leitungen auch einadrige Gummibleikabel WLBEU, die ohne Rohr auf Abstandschellen verlegt werden. Für die Auswahl der Leitungen ist die Sternsekundärspannung des Umspanners, nicht die Spannung gegen Erde, maßgebend.

Moorelicht-Anlagen gelangen als Ein- und Dreiphasensysteme zur Anwendung und können in Rohrlängen bis zu etwa 60 m ausgeführt werden. Die hierbei erforderlichen Betriebsspannungen sind hoch und betragen je nach der Rohrlänge etwa 5 bis 25 kV. Deshalb müssen die Glasröhren einen größeren Durchmesser erhalten, und zwar beträgt dieser 40 bis 45 mm. Die bei dem Moorelicht an den Glaswänden und an den Graphitelektroden auftretende Aufsaugung des Gases wird durch eine selbsttätige Speisevorrichtung (Atemventil nach Moore) dadurch ausgeglichen, daß in Zeitabständen von 3 bis 4 Minuten eine Gasdruckregelung und damit ein Nachspeisen der Rohre stattfindet. Etwaige Unreinigkeiten in den Gasen werden durch die der Graphitkohle innewohnende Eigenschaft, diese aufzusaugen, durch die Graphitelektroden beseitigt. Die Lebensdauer ist daher eine sehr hohe und kann, bevor die Gasfüllung erneuert werden muß, etwa 8000 bis 10 000 Stunden betragen. Jedoch ist es erforderlich, die an der Speisevorrichtung befindlichen Gaserzeuger von Zeit zu Zeit nachzusehen und alle sechs Monate zu erneuern. Ebenso müssen die Elektroden nach etwa 2000 Brennstunden durch neue ersetzt werden.

Der Stromverbrauch je Anlage beträgt hochspannungsseitig etwa 0,2 A. Je Meter Rohr werden bei Gelblichtanlagen (Sonnengold) 80 bis 120 W bei einer Betriebsspannung von 480 bis 600 V, bei Weißlichtanlagen (Tageslicht) 100 bis 180 W bei 630 bis 1000 V benötigt. Da es sich nur um größere Rohrlängen (10 bis 60 m) handelt, müssen die Rohre stets an Ort und Stelle zusammengeschweißt werden.

Zur Erzeugung der Hochspannung ist für jede Anlage ein Umspanner erforderlich, dessen Leistung sich nach der zur Verwendung kommenden Rohrlänge richtet. Hiervon ist auch seine Spannung auf der Oberspannungsseite abhängig, die, entsprechend der größten Rohrlänge von 60 m, bis zu 25 kV betragen kann. Von der Oberspannungswicklung des Umspanners darf kein Punkt mit der Erde in leitender Verbindung stehen.

Der Einbau erfolgt in ähnlicher Weise wie bei den Edelgas-Leuchtröhren. Bei der geschlossenen Anlage kommt eine Verlegung von Oberspannungsleitungen nicht in Betracht, da die beiden Enden der Leuchtröhren bis in den Kasten des Umspanners geführt und die hier erforderlichen kurzen Verbindungen innerhalb desselben ausgeführt werden. Bei der offenen Anlage, bei der sich die Elektroden an jedem Ende der Leuchtröhrenführung befinden, ist eine Verbindungsleitung von den beiden Elektroden zum Umspanner herzustellen, die der Leerlaufspannung angepaßt sein muß.

Moorelichtröhren eignen sich infolge ihrer Länge und des großen Durchmessers nicht zur Herstellung von Leuchtbuchstaben, sondern gelangen hauptsächlich für Umrißbeleuchtung und Gebäudeflächenbetonungen zur Verwendung. Infolge der bei Verwendung von Kohlendioxydgasen großen Annäherung der Lichtfarbe an das

Tageslicht werden sie auch als Raumbeleuchtung und zur Unterscheidung der Farben in gewerblichen Betrieben verwendet.

Tafel 17. Beleuchtungskalender.

Ein- und Ausschaltzeiten für Außenbeleuchtungen (mitteleuropäische Zeit).

Monat	Tag	Beleuchtungszeit von	bis	Monat	Tag	Beleuchtungszeit von	bis	Monat	Tag	Beleuchtungszeit von	bis
Januar	1—10	16.35	7.50	Mai	1—10	19.55	4.15	September	1—10	19.05	5.10
	11—20	16.50	7.45		11—20	20.10	4.00		11—20	18.45	5.25
	21—31	17.05	7.40		21—31	20.25	3.45		21—30	18.20	5.40
Februar	1—10	17.25	7.25	Juni	1—10	20.40	3.30	Oktober	1—10	18.00	6.00
	11—20	17.40	7.05		11—20	20.45	3.30		11—20	17.35	6.15
	21—28	18.00	6.45		21—30	20.50	3.30		21—31	17.15	6.30
März	1—10	18.15	6.30	Juli	1—10	20.50	3.15	November	1—10	16.55	6.50
	11—20	18.30	6.10		11—20	20.40	3.45		11—20	16.40	6.05
	21—31	18.45	5.45		2 1—31	20.30	4.00		21—30	16.30	7.20
April	1—10	19.05	5.20	August	1—10	20.10	4.20	Dezember	1—10	16.25	7.35
	11—20	19.20	5.00		11—20	19.50	4.35		11—20	16.20	7.45
	21—30	19.40	4.35		21—31	19.30	4.50		21—31	16.25	7.50

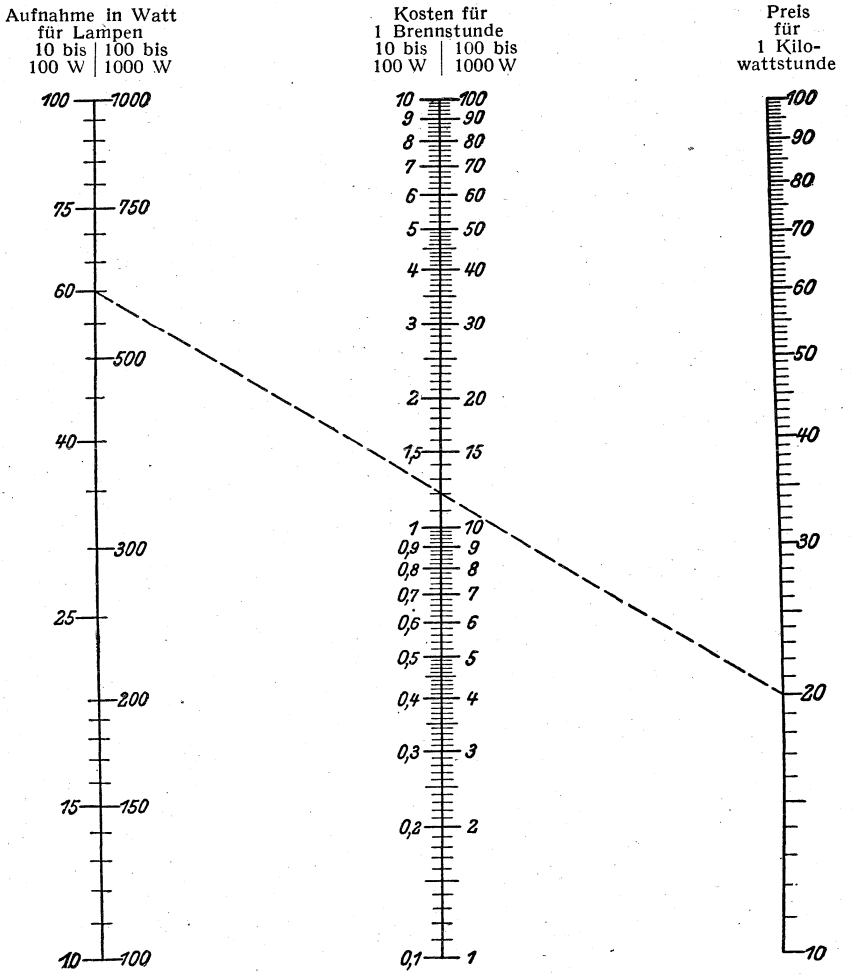
Tafel 18. Dunkelstunden

bezogen auf den Meridian von Berlin 13° 23′ 44″ östlich von Greenwich.

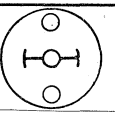
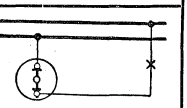
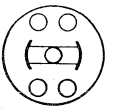
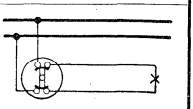
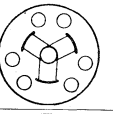
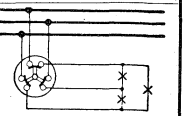
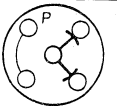
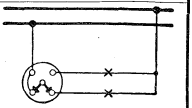
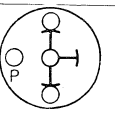
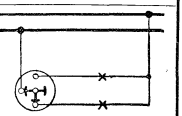
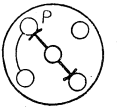
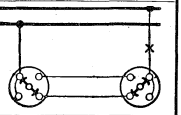
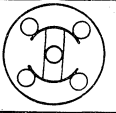
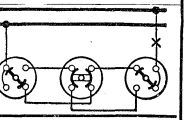
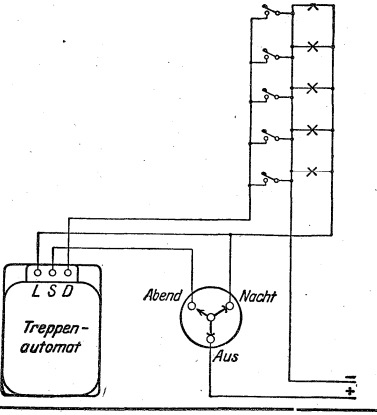
Zeitdauer	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	im Jahre	in 300 Tagen
Von Sonnen-Untergang bis 16 Uhr.....	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	7	9	8
bis 17 Uhr.....	18	2	—	—	—	—	—	—	—	4	27	38	89	73
bis 18 Uhr.....	49	24	3	—	—	—	—	—	2	29	57	69	233	192
bis 19 Uhr.....	80	52	29	4	—	—	—	1	23	60	87	100	436	359
bis 20 Uhr.....	111	80	60	32	7	—	1	20	53	91	117	131	703	578
bis 21 Uhr.....	142	108	91	62	37	20	24	51	83	122	147	162	1049	862
bis 22 Uhr.....	173	136	122	92	68	50	55	82	113	153	177	193	1414	1161
bis 23 Uhr.....	204	164	153	122	99	80	86	113	143	184	207	224	1779	1462
bis 24 Uhr.....	235	192	184	152	130	110	117	144	173	215	237	255	2144	1762
bis Sonnen-Aufgang.	485	397	378	304	257	220	241	292	341	416	459	506	4296	3531
Bis Sonnen-Aufgang von Mitternacht ...	250	205	194	152	127	110	124	148	168	201	222	251	2152	1769
von 1 Uhr.....	219	177	163	122	96	80	93	117	138	170	192	220	1787	1469
von 2 Uhr.....	188	149	132	92	65	50	62	86	108	139	162	189	1422	1169
von 3 Uhr.....	157	121	101	62	34	20	31	55	78	108	132	158	1057	869
von 4 Uhr.....	126	93	70	32	5	—	2	24	48	77	102	127	706	581
von 5 Uhr.....	95	65	39	6	—	—	—	1	18	46	72	96	438	360
von 6 Uhr.....	64	37	10	—	—	—	—	—	—	15	42	65	233	192
von 7 Uhr.....	33	10	—	—	—	—	—	—	—	—	12	34	89	73
von 8 Uhr.....	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	7	7

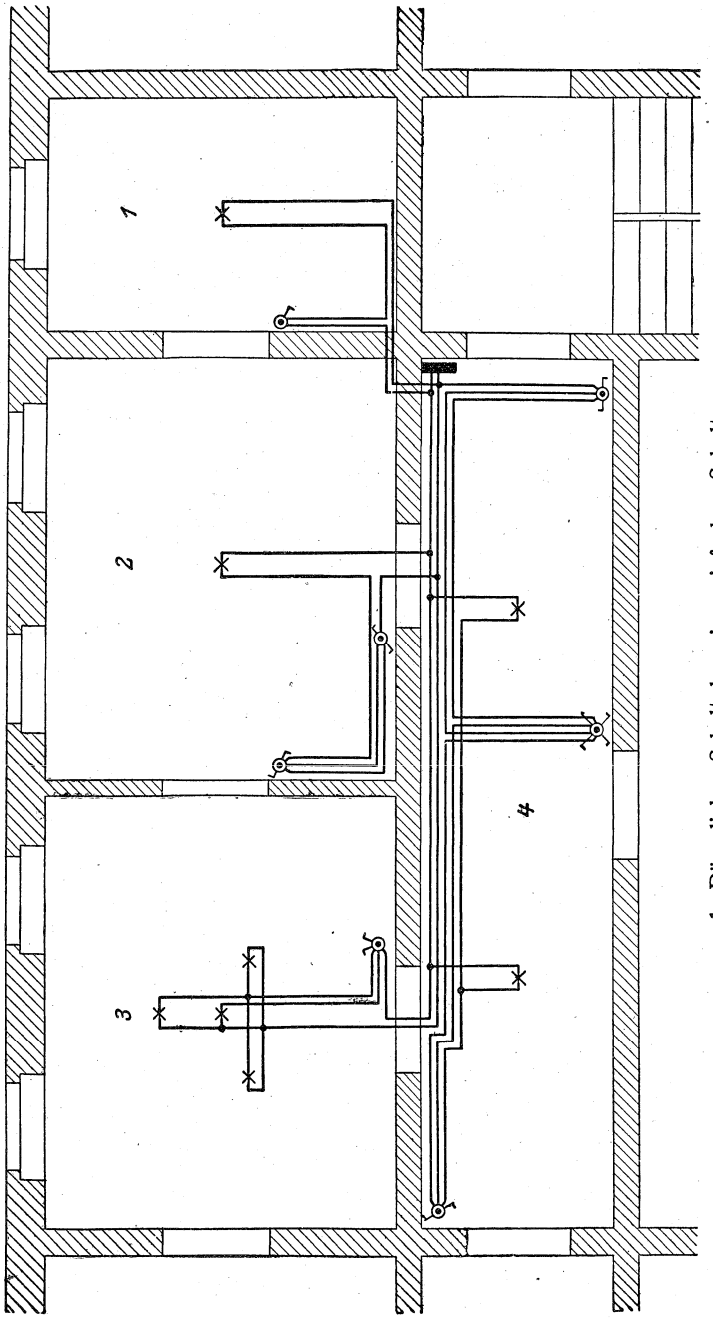
Betriebskosten für elektrische Lampen.

Die Betriebskosten für eine elektrische Lampe werden wie folgt ermittelt: Die Wattaufnahme der Lampe wird auf der linken Skala aufgesucht und der Preis für 1 Kilowattstunde auf der rechten Skala. Durch Verbindung dieser beiden Punkte erhält man auf der mittleren Skala den Preis für eine Brennstunde in der Münzeinheit des Kilowattstundenpreises. Für Lampen bis 100 Watt gelten die linken Zahlenreihen und für Lampen über 100 Watt die rechten Zahlenreihen der Skalen. Es ergeben sich z. B. für eine Lampe von 60 Watt bei einem Kilowattstundenpreis von 0,20 RM. die Kosten für 1 Brennstunde zu 1,2 RPf.



Lampenschaltungen.

Art der Schaltung	Bezeichnung des Schalters Neu	Alt	Bild des Schalters	Schaltplan
Einpolige Ein- und Ausschaltung	Schalter 1	Ausschalter 1 polig		
Zweipolige Ein- und Ausschaltung	Schalter 2	Ausschalter 2 polig		
Dreipolige Ein- und Ausschaltung	Schalter 3	Ausschalter 3 polig		
Umschaltung von 2 Stromkreisen mit 2 Unterbrechungen	Schalter 4	Gruppenschalter		
Stufenweise Ein- u. Ausschaltung von 2 Stromkreisen mit 1 Unterbrechung	Schalter 5	Serienschalter		
Ein- und Ausschaltung eines Stromkreises von 2 Stellen aus	Schalter 6	Wechselschalter		
In Verbindung mit Schalter 6 für Ein- und Ausschaltung von mehr als 2 Stellen aus	Schalter 7	Kreuzschalter		
Schaltung einer selbsttätigen Treppenbeleuchtung mit Druckknopfbetätigung				



1. Räumlicher Schaltplan einer einfachen Schaltung,
2. Räumlicher Schaltplan einer Wechselschaltung,
3. Räumlicher Schaltplan einer Serienschaltung,
4. Räumlicher Schaltplan einer Kreuzschaltung.

ELEKTROWÄRME

Allgemeines.

Die Elektrowärme gewinnt für die Zwecke der Industrie, des Gewerbes, der Landwirtschaft sowie des Haushaltes eine immer steigende Bedeutung.

Je nach dem Verwendungszweck ist die Art, in der die Umwandlung der elektrischen Energie in Wärme erfolgt, eine recht mannigfaltige.

Der elektrische Lichtbogen wird als Wärmequelle in den Schmelzöfen der chemischen und Eisenindustrie, sowie bei der Lichtbogenschweißung benutzt.

Durch Induktion erzeugte Wärme wird für Schmelz- und Glühprozesse in der Metallindustrie angewendet.

Die Widerstandserwärmung dient der Beheizung industrieller Öfen, der Wärmeerzeugung für Koch- und Raumbeheizungszwecke, zur Wassererwärmung, sowie bei der Widerstandsschweißung, wobei die zu verschweißenden Teile selbst als Widerstand dienen.

In diesen mannigfachen Formen hat sich das elektrische Wärmeverfahren praktisch bewährt. Seine Hauptvorzüge sind gute Anpassungsfähigkeit an den Verwendungszweck, hoher Wirkungsgrad, da sich die Verluste durch Heranbringen der Wärmeerzeugung unmittelbar an die Gebrauchsstelle niedrig halten lassen, sauberer, hygienischer Betrieb durch Wegfall von Verbrennungsrückständen (wie Asche, Schlacke) und Abgasen, vorzügliche Regelbarkeit der Temperaturen, die sich bis zum selbsttätigen Arbeitsverfahren durchbilden läßt. Da, wie eben erwähnt, sich die Abwärmeverluste gering halten lassen, ist beim Arbeiten mit Elektrowärmegeräten die Belästigung der Bedienenden durch abgestrahlte Wärme auf ein Mindestmaß eingeschränkt.

Die elektrisch erzeugte Wärmemenge entspricht dem Energieverbrauch in kWh, und zwar so, daß für die Entwicklung von 860 Wärmeeinheiten (WE) eine kWh aufzuwenden ist. Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades von 80 bis 90%, der bei manchen Verfahren noch höher ist, kann man für überschlägige Berechnungen 1 kWh mit etwa 700 bis 800 WE ansetzen.

Elektrische Industrieöfen.

Um die technischen und wirtschaftlichen Vorteile der Elektrowärme ausnutzen zu können, ist eine Anpassung der Beheizungs- und Ofenbauart an das vorgeschriebene thermische Verfahren, die Art der Werkstoffe oder die Form der Werkstücke und an die Betriebsweise erforderlich. Aus diesen Anforderungen ergibt sich die Vielheit der Elektroofenbauarten.

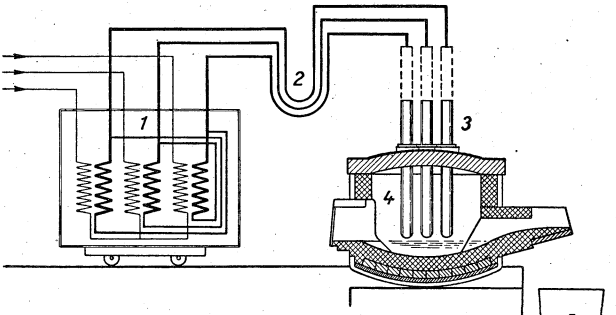
Lichtbogenöfen.

Der **Stahlofen** (Heroultofen) wird zum Schmelzen von Eisen und Stahl, insbesondere auch zum Feinen der Schmelze verwendet (Bild 1 u. 2). Er besteht aus einem kippbaren Gefäß, in dessen Deckel die drei Elektroden (in der Regel aus Graphit) senkrecht stehend eingeführt werden. Die Regelung des Abstandes der Elektroden vom Schmelzbad erfolgt selbsttätig auf elektrischem oder hydraulischem Wege. Die Beschickung kann mit festem oder flüssigem Einsatz erfolgen. Größere Öfen für festen Einsatz werden mit Korbbeschickung ausgeführt, wobei nach Abfahren des Deckels mit den Elektroden oder des Ofengefäßes, die ganze Einsatzmenge von einem am Kran hängenden Korb in das Ofengefäß eingebracht wird. Die Öfen sind bis zu einem Einsatz von 40 t und einer Umspannerleistung von 9000 kVA ausgeführt.

Die **Strahlungs-Lichtbogenöfen** (überwiegend als Trommelöfen ausgeführt), bei denen die Wärmeübertragung auf das Schmelzgut nicht wie bei den oben beschriebenen Öfen durch den sich zwischen Elektrode und Einsatz bildenden Lichtbogen übertragen wird, sondern durch Strahlung von dem zwischen den Elektroden

brennenden Lichtbogen, haben geringe Bedeutung. Sie besitzen einen um eine waagerechte Achse drehbaren Schmelzraum.

Reduktionsöfen werden zur Herstellung von Ferrolegierungen durch reduzierendes Schmelzen von Erzen und zur Erzeugung von Calciumcarbid und ähnlichen chemischen Verbindungen benutzt.



1 = Ofenumspanner. 2 = bewegliche Zuleitung. 3 = Elektroden. 4 = kippbares Ofengefäß. 5 = Gießpfanne
Bild 1. Lichtbogenofenanlage

Induktionsöfen

für **Niederfrequenz** werden mit der Netzfrequenz betrieben. Sie arbeiten mit Umspannung des Stromes, und zwar so, daß der Bodenstein des Ofengefäßes eine Schmelzrinne hat, deren Inhalt die Sekundärwicklung eines Umspanners darstellt, auf dessen Eisenkern die an die Netzspannung gelegte Primärspule aufgeschoben ist. Bis etwa 600 kg Fassung werden die Öfen einphasig, darüber hinaus dreiphasig ausgeführt. Hauptverwendung: Schmelzen von Nichteisenmetallen und deren Legierungen, insbesondere Kupfer, Messing, Zink und Aluminium. Die Ofenbauart verlangt einen flüssig zu haltenden Restinhalt des Ofengefäßes (Ofensumpf), deshalb ist der Niederfrequenzofen nicht geeignet für kurzzeitigen Betrieb und häufigen Wechsel in der Zusammensetzung der Schmelze.

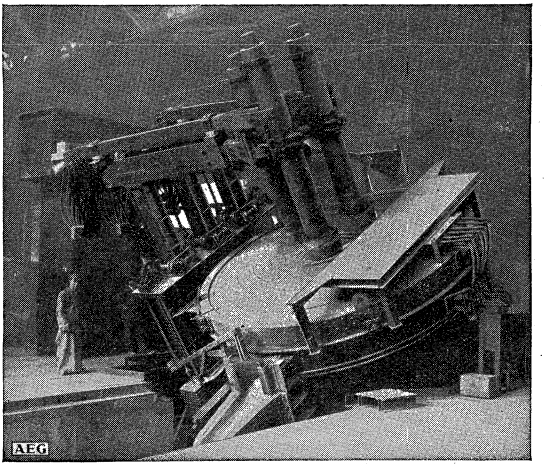
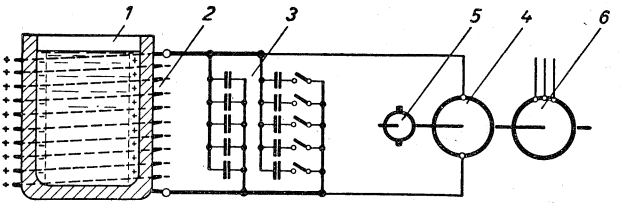


Bild 2. Lichtbogenofen in Kippstellung.

Der **Hochfrequenzofen** oder kernlose Induktionsofen (Bild 3 u. 4) hat einen tiegelförmigen Schmelzraum, der von einer wassergekühlten, mit hochfrequentem Wechselstrom gespeisten Spule umgeben ist. Die Abschirmung der Kraftlinien der Spule nach außen erfolgt bei den AEG-Öfen durch einen Kupfermantel. Die Periodenzahl liegt bei den Betriebsöfen zwischen 400 bis 2000 Hz, bei den kleineren Laboratoriums-



1 = Ofengefäß (Tiegel). 2 = Ofenspule. 3 = Kondensatorenbatterie (regelbar). 4 = Hochfrequenzgenerator. 5 = Erregermaschine. 6 = Antriebsmotor. Bild 3. Hochfrequenzofenanlage.

öfen bis 15000 Hz. Die Anlage umfaßt außer dem Ofen und seiner Kippvorrichtung einen Hochfrequenzstromerzeuger, eine Kondensatorenbatterie zur Verbesserung des Leistungsfaktors und die Schaltanlage.

Der größte im Betrieb befindliche Ofen hat ein Fassungsvermögen von 8 t bei 1400 kVA Generatorleistung. Anwendungsgebiet: Schmelzen und Legieren von Stahl und Nichteisenmetallen wie Kupfer und Nickel und deren Legierungen.

Duro-Induktionsglühanlagen. Ausgeführt zum Härten von Kurbelwellen (Tocco-Verfahren) und Bolzen sowie zum Auflöten von Hartmetall auf Stahl.

Widerstandsöfen.

Widerstandsöfen werden hauptsächlich für Vergütungszwecke in der Metallindustrie verwendet (Glühen, Härten, Anlassen), ferner als Brennöfen für die keramische Industrie, daneben in geringerem Umfang auch als Schmelzöfen. Bis zu Temperaturen von 1100° werden metallische Heizwiderstände (Bild 5), darüber hinaus bis 1350° Silitstäbe verwendet. Man unterscheidet:

Niedertemperaturöfen bis zu 300° zum Trocknen und Anlassen. Häufig mit künstlicher Luftumwälzung.

Mitteltemperaturöfen 300 bis 1050°, bis 650° auch mit Luftumwälzung; zum Glühen, Härten und Anlassen von Eisen- und Nichteisenmetallen, zum Farbeneinbrennen und Schmelzen.

Hochtemperaturöfen 1050 bis 1350° als Härte- und Brennöfen.

Nach der Betriebsweise unterscheidet man:

Öfen für Standbetrieb, bei denen das Gut im Ofen an derselben Stelle verbleibt (Kammer-, Schacht-, Mulden-, Hubherdöfen, Metall- und Salzbäder).

Öfen für Fließbetrieb, bei denen das Gut stetig oder periodisch wandernd seine Lage im Ofen verändert (Roll-, Ringherd-, Trommel-, Stoß-, Förderband-, Rollenherd-, Band- oder Drahtdurchzug-, Paternosteröfen) (Bild 6).

Die Wärmeübertragung erfolgt entweder durch die im Ofenraum eingeschlossene Luft oder durch eine Schutzgas-

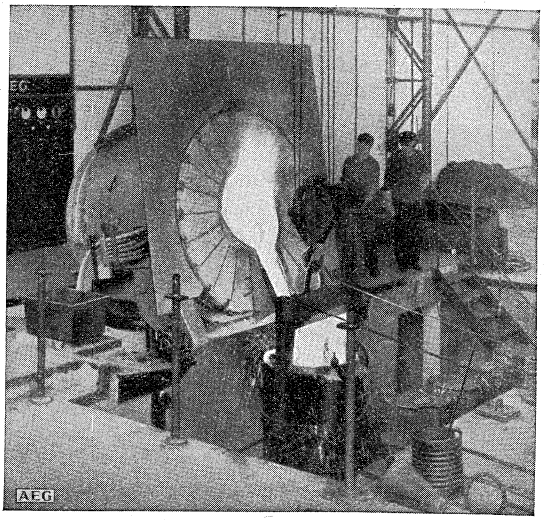
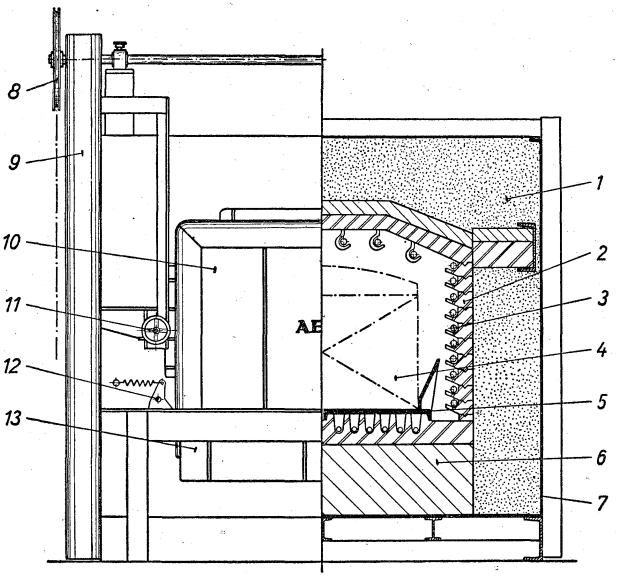


Bild 4. Hochfrequenzofen beim Abguß (in Kippstellung).



1. Isolierpulver.
2. Schamotte-auskleidung.
3. Heizkörper.
4. Glühgut.
5. Herdplatte.
6. Isoliersteine.
7. Ofengehäuse.
8. Türhebevorrichtung.
9. Gegengewicht-verkleidung.
10. Hubtür.
11. Anpreßvorrichtung.
12. Schaffplatten-Klinkvorrichtung.
13. Klappbare Schaffplatte.

Bild 5. Kammerhärteofen

atmosphäre. Hierfür wird, soweit es sich um Nitrieren handelt, ein durch Aufspalten von Ammoniak erzeugtes Wasserstoff-Stickstoffgemisch oder für das Aufkohlen ein kohlenstoffabgebendes Gas verwendet. Auch die wichtige Aufgabe des Blankglühens durch Verhinderung der Oxydation während des Glühens

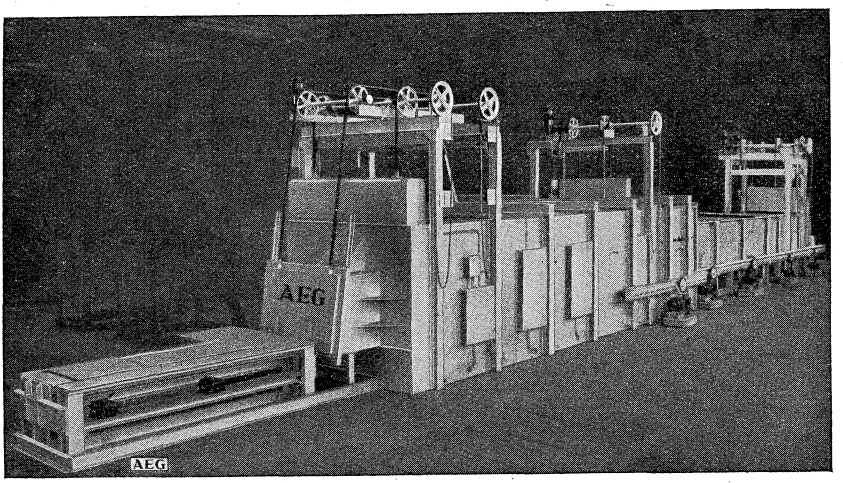


Bild 6. Stoßofen zum Blankglühen.

wurde durch Anwendung von Schutzgas, das in einer besonderen Anlage aus Leuchtgas, Propan oder Ammoniak erzeugt wird, mit Erfolg gelöst.

Neben den vielseitigen Formen der für die Warmbehandlung bestimmten Widerstandsöfen sind für gewerbliche Zwecke besonders die Schmelzöfen für Temperaturen bis etwa 850° in der Form von Tiegel- und Wannenöfen in feststehender oder kippbarer Ausführung zum Schmelzen von Leichtmetallen, Lagermetall und dergleichen, sowie zum Verzinnen und Verzinken zu erwähnen, ferner auch für kleinere Betriebe die Kammerhärteöfen (Bild 5), sowie die Salzbadhärteöfen, bei denen ein Salzbad mittels zwischen Elektroden durchgeleiteten niedergespannten Stromes erhitzt wird, Abschreckbäder u. a. m.

Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen sollte jeder Widerstandsofen mit einer selbsttätigen Temperaturregelung versehen werden. Hierfür kommen in Frage Kontaktthermometer, Regler mit einem sich unter der Erwärmung ausdehnendem Fühlorgan, oder Fall- und Druckbügelregler, bei denen die auf einer Skala eingestellte Temperatur in kurzen Zeitabständen selbsttätig nachgemessen und immer wieder eingeregelt wird.

Das elektrische Schweißen.

Die Lichtbogenschweißung.

Das Verfahren.

Die Lichtbogenschweißung ist eine Schmelzschweißung, da die zu vereinigenden Werkstücke an der Schweißstelle zum Schmelzen gebracht werden. Das Verfahren eignet sich für alle Eisen- und Stahlsorten, für Bronze, sowie Aluminium. Mit einem besonderen Verfahren (Arcatomschweißung) lassen sich auch Messing und Aluminium-Legierungen schweißen.

Bei dem am häufigsten zur Anwendung kommenden Metallichtbogenverfahren (Slawianoff-Verfahren) wird der eine Pol der Schweißstromquelle an das Werkstück, der Gegenpol an eine Metallelektrode gelegt. Der Lichtbogen wird zwischen Elektrode und Werkstück gezogen, wobei die Elektrode in die Schweißstelle niedergeschmolzen wird. Der Kohlelichtbogen wird bei selbsttätigem Schweißen, beim Schweißen dünner Bleche ohne Zusatzwerkstoff (Bördelnähte) verwendet.

Die Metallelektrode ist ein Draht von —28 mm Stärke, der in eine Zange eingespannt und von der Hand des Schweißers geführt wird. Der Schweißer ist durch eine Kopfschutzmaske mit gefärbtem Schauglas und Handschuhe gegen Spritzer und die Wirkungen der ultravioletten Strahlen geschützt (Bild 7).

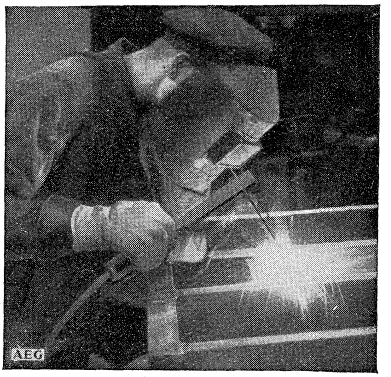


Bild 7. Lichtbogenschweißung.

Die Höhe des für die Schweißung verwendeten Stromes richtet sich nach der Stärke des Werkstoffes, z. B. der Dicke zweier zu verschweißenden Bleche. Der Stromstärke entsprechend ist die Dicke der Elektrode zu wählen. Zur Ausführung einer guten Schweißung ist es erforderlich, Schweißdrahtdurchmesser, Schweißstromstärke und Spannung nach Art der Schweißung und Stärke des Schweißgutes richtig zu wählen. Anhaltspunkte hierfür sind in Bild 8 und 9 gegeben. Bei richtig ausgeführter Schweißung muß das Werkstück genügend tief aufgeschmolzen werden, das niedergeschmolzene Drahtmaterial darf an den Rändern der Schweißraupe nicht über die auf-

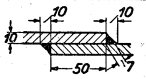
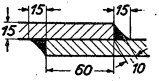
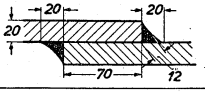
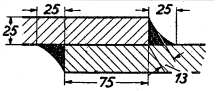
Blechstärke mm	Vorbereitung der Überlappung	Schweiß-Stromstärke Amp	Schweiß-Spannung Volt	Schweiß-Draht ⌀ mm
10+10		150	20	4
15+15		180	20	4,5
20+20		180	20	5
25+25		200	22	6

Bild 8. Schweißstromstärken und Elektrodendurchmesser für Überlappungsschweißung von Blechen.

geschmolzene Oberfläche des Werkstückes hinaus seitlich wegfließen. Zwecks Ausführung einer guten Schweißung muß noch folgendes beachtet werden. Es sollen in der Schweiße selbst keine Schlackeneinschlüsse oder Gasblasen vorhanden sein. Um derartige Fehler zu vermeiden, muß vor allem die richtige Stromstärke gewählt werden und die Elektrode weder zu schnell noch zu langsam in der Schweißrichtung fortgeführt werden.

Ferner ist noch folgendes besonders zu beachten. Der Lichtbogen selbst soll nicht zu lang gehalten werden, d. h. die Schweißspannung darf nicht zu hoch sein.

Anwendung der Lichtbogenschweißung.

Die Lichtbogenschweißung wird an Stelle der Niet- oder Schraubverbindungen im Rohrleitungs- und Behälterbau, im Fahrzeugbau, im Maschinenbau, im Hoch- und Brückenbau, im Schiffbau, in Reparaturwerkstätten, sowie in vielen anderen ähnlichen eisenverarbeitenden Industriebetrieben und Werkstätten angewendet.

Man erzielt mit dem Lichtbogenschweißverfahren wesentliche Zeit-, Werkstoff- und Gewichtsersparnisse infolge Wegfall des Anreißens, Bohrens und Aufreibens der Niet- oder Schraublöcher der Nieten oder Schrauben selbst sowie der Knotenbleche und Überlappungen. Das bequeme Arbeiten mit der elektrischen Schweißung ermöglicht auch vielfach den Ersatz von Gußteilen durch solche aus Blechen und anderem Walzeisen, z. B. die Herstellung v. Maschinengehäusen aus Stahlblech. Auch für Wiederherstellung

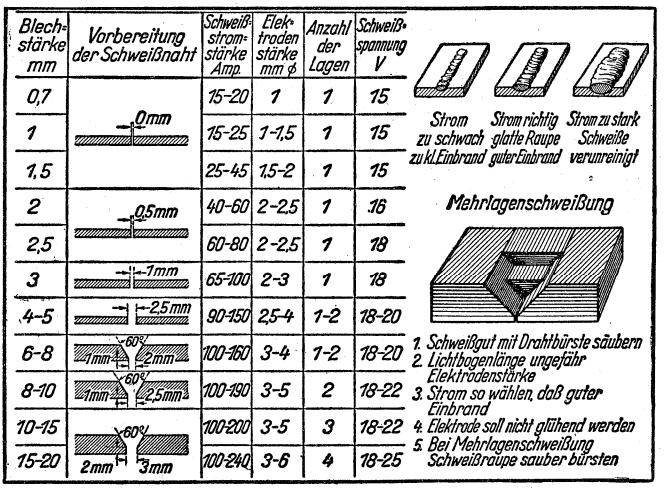


Bild 9. Stumpfschweißen von Blechen mittels des Lichtbogens.

von gebrochenen Graugußteilen läßt sich das Lichtbogenverfahren bei richtiger Vorbereitung verwenden (z. B. Einsetzen von Stiften in die Schweißfuge zur besseren Kräfteübertragung). Wo nicht mit Gußspannungen zu rechnen ist (abgebrochene Ecken, Füße u. dgl.) kann die Schweißung am kalten Gußstück vorgenommen werden. Verwendet werden Stromstärken von 120 bis 200 A bei 18 bis 25 V. Wo größere Spannungen im Gußstück vorausgesetzt werden müssen, z. B. bei Hohlkörpern, ist die Warmschweißung anzuwenden, wobei das Werkstück im Ofen bis auf Rotglut vorzuwärmen ist, nachdem eine entsprechende mechanische Vorbereitung vorgenommen ist (Abbohren von Rissen, Auskreuzen der Schweißstelle). Nach der Schweißung darf das Werkstück nur ganz langsam erkalten.

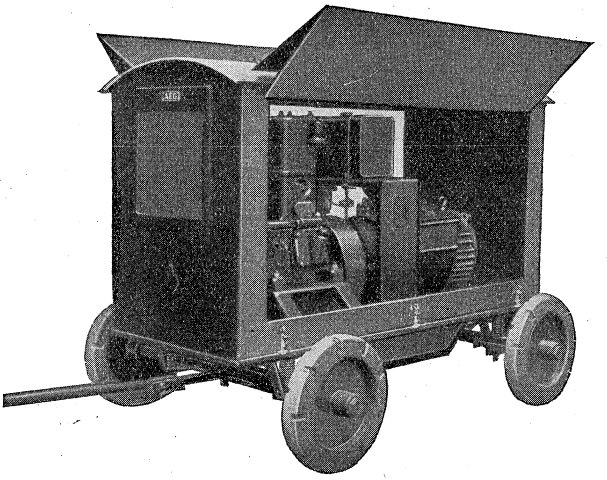


Bild 10. Dieselschweißwagen.

Schließlich sind hier noch Auftragsschweißungen zu erwähnen, bei welchen Werkstoff auf abgenutzte Flächen aufgetragen wird, wodurch sich in vielen Fällen bei stark beanspruchten Maschinenteilen die Ersatzteilhaltung auf ein Mindestmaß beschränken läßt. Als Anwendungsbeispiele seien abgenutzte Arbeitskanten an Baggerschaufeln, verschlissene Kreuzköpfe, Gleitbahnen, Spurkränze an Rädern u. dgl. genannt.

Die Schweißelektroden.

Der Schweißdraht kann in verschiedener Ausführung, und zwar blank, getaucht oder ummantelt verwendet werden. Die Pastenumhüllung bei den getauchten und ummantelten Stäben hat den Zweck, beim Abschmelzen im Lichtbogen eine Schutzgashülle zu bilden, in der der Lichtbogen ruhiger brennt und dadurch eine Oxydation der Schweißstelle unter Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft nach Möglichkeit zu verhindern. Außerdem können der Ummantelung noch Legierungsbestandteile hinzugefügt werden, die bestimmte Festigkeitseigenschaften der Schweißstelle gewährleisten. Bei der Auswahl der Elektroden ist auf die zur Verwendung kommende Stromart Rücksicht zu nehmen, da die Schweißung sowohl mit Gleich- als auch mit Wechselstrom ausgeführt werden kann. Bei Benutzung von Wechselstrom müssen ummantelte Schweißdrähte verwendet werden, während bei Gleichstrom neben diesen auch blanke und getauchte Elektroden benutzt werden können.

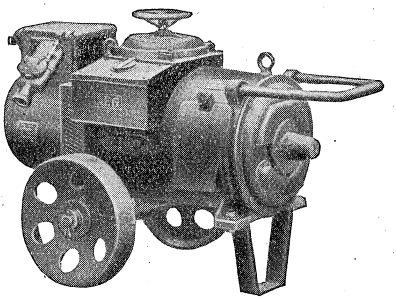


Bild 11. Schweißumformer.

Erzeugung des Schweißstromes.

Die niedrige Spannung des Lichtbogens läßt wirtschaftlich einen unmittelbaren Anschluß an das Netz nicht zu. Es muß daher eine Umformung des Stromes entsprechend den beim Schweißen gestellten Bedingungen in besonderen Maschinen vorgenommen werden.

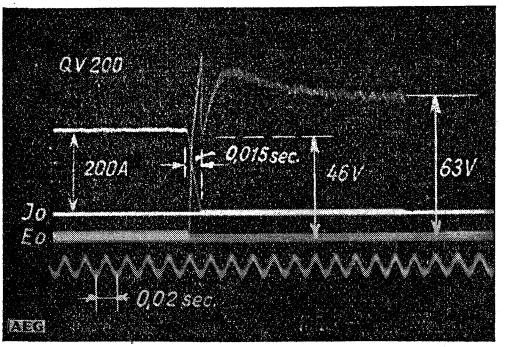


Bild 12. Verlauf von Schweißstrom und Spannung während des Kurzschlußüberganges.

Als Stromerzeuger werden verwendet:

Für Gleichstromschweißungen der Schweißgenerator, der meist, je nach der Stromart des Netzes durch einen Drehstrom- oder Gleichstrommotor angetrieben, als Eingehäuse-Schweißumformer ausgeführt wird. Er kann aber auch durch einen Diesel- oder Benzinmotor angetrieben werden, wenn ein Netzanschluß nicht möglich oder nicht erwünscht ist. Bild 10 zeigt einen solchen auf einem Wagen untergebrachten Schweißmaschinensatz.

Auch der Umformer wird meist fahrbar ausgeführt. Zwecks Raum- und Gewichtsersparnis erhalten Generator und Motor ein gemeinsames regensicheres Gehäuse (Bild 11). Der Generator ist als Sondermaschine ausgeführt mit der für den Schweißbetrieb erforderlichen Charakteristik. Die Maschine muß kurzschlußsicher sein und raschen Wiederanstieg der Spannung nach jedem Kurzschlußübergang gewährleisten (Bild 12). Den Zusammenhang zwischen Schweißstromstärke und Lichtbogenspannung zeigen die Kennlinien Bild 13. Die Schweißstromstärke wird mittels eines Handrades und eines Strommessers eingestellt.

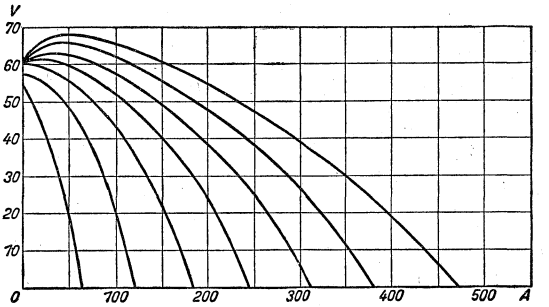


Bild 13. Statische Regelkurven (Kennlinien) eines Schweißgenerators.

Regelbereich der Maschine { QV 200 25 bis 300 A, QV 300 50 bis 400 A } für Metallelektroden

Für besondere Fälle (Schweißen dünner Bleche) kann durch einen Zusatzwiderstand im Schweißstromkreis der Strom bis auf 10 bzw. 15 A herabgesetzt werden.

Der Anschluß erfolgt durch eine biegsame Leitung (Schweißkabel), die Überwachung der Stromstärke an dem angebauten Strommesser.

Die Polsicherheit wird durch einen eingebauten Umpolschutz gewährleistet.

Die Einschaltung des Antriebsmotors erfolgt bei Drehstrom durch einen angebauten Sterndreieckschalter, bei Gleichstrom durch einen Schaltwalzenanlasser mit Nullspannungsauslösung.

Die Schweißgeneratoren können auch zu zweien oder mehreren parallel geschaltet werden, wenn es sich darum handelt, vorübergehend mit größeren Schweißleistungen zu arbeiten.

Für Wechselstromschweißungen wird der Schweißumspanner verwendet, der im Gegensatz zum Schweißumformer einphasig an das Drehstromnetz angeschlossen wird (Bild 14). Regel- und Betriebskurven siehe Bild 15. Die Einstellung des Schweißstromes erfolgt stufenlos durch ein Handrad an einer nach A geeichten Skala, die doppelseitig für das Schweißen mit leichtgetauchten und dick umhüllten Elektroden ausgeführt ist.

Der Umspanner ist luftgekühlt und für wahlweisen Anschluß an mehrere Netzspannungen eingerichtet. Leistungsdaten siehe Tafel 1.

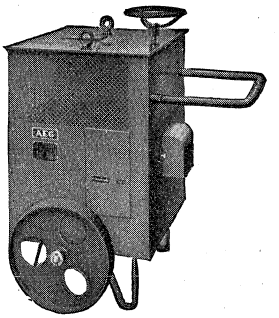


Bild 14. Schweißumspanner.

Tafel 1. Technische Angaben der Schweißumspanner.

Größe	Netzspannung V	Schweiß- Strom A	Schweiß- Spannung V	Regelbereich stufenlos A	Anschluß-Höchstwert kVA
LSU 160	220/380 oder 500	250	30	40 ... 250 bei 30 V	21,5
LSU 400	220/380/500	450	40	75 ... 450 bei 40 V	46

Da er keine umlaufenden Teile hat und einen höheren Wirkungsgrad besitzt, hat der Umspanner (also damit das Schweißen mit Wechselstrom) gewisse Vorzüge gegenüber dem Umformer, wenn auch von der Verwendung von blanken Elektroden Abstand genommen werden muß.

Das **Arcatom-Schweißverfahren** (DRP.) ist ein hochwertiges Sonderschweißverfahren, das vorzugsweise bei hochlegierten Stählen und Nichteisenmetallen angewendet wird. Es lassen sich damit vakuumdichte und druckfeste Schweißnähte höchster Dehnungsfähigkeit, Verformbarkeit und Anfressungsbeständigkeit ausführen.

Bei der Arcatomschweißung wird der Lichtbogen zwischen zwei in einem Handbrenner (Bild 16) sitzenden Wolframelektroden, die nur als Stromträger dienen, gezogen. Das Werkstück bleibt stromlos. Lichtbogen und Schweißstelle werden durch einen Gasmantel aus Wasserstoff gegen Sauerstoff- und Stickstoffeinflüsse aus der Luft geschützt. Das Wasserstoffgas wird einer Gasflasche entnommen und durch Schläuche dem Brenner zugeführt, wo es aus Ringdüsen an den Wolframelektroden austritt. Der benötigte Schweißstrom wird von einem an das Drehstromnetz einphasig anzuschließenden Sonderumspanner erzeugt.

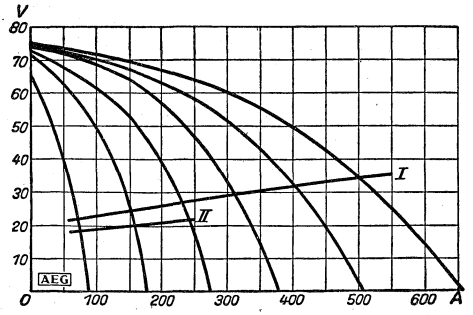


Bild 15. Regelkurven für LSU 400. Schweißbereich I für stark ummantelte Elektroden. II für getauchte Elektroden.

Die besonderen Vorzüge der Arcatomschweißung liegen neben

der hohen Schweißgeschwindigkeit, in glattem Schweißfluß ohne ausgesprochene Raupenbildung, in porenfreien, zähen, dichten und kaltverformungsfähigen Nähten ohne Schlackeneinschlüsse auch bei dicksten Blechen. Eine starke Zusammenballung der Wärme an der Schweißstelle ermöglicht schnelles Verschweißen mit kleinsten Verwerfungen, und da die Beeinflussung der Werkstoffzusammensetzung nur sehr gering ist, lassen sich auch legierte Werkstoffe, hochwertige Werkzeugstähle, Aluminiumlegierungen und viele andere Nichteisenmetalle einwandfrei und leicht arcatomschweißen.

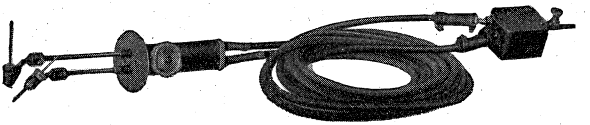


Bild 16. Brenner für die Arcatom-Schweißung.

Selbsttätige Lichtbogenschweißgeräte

werden neben der Handschweißung für lange Nähte an gleichförmigen Werkstücken verwendet. Hierbei wird der Schweißdraht durch einen sogenannten Schweißkopf laufend dem Lichtbogen zugeführt. Dabei kann der Schweißkopf entweder fest aufgehängt und das Werkstück in Richtung der Schweißnaht unter ihm fortbewegt werden, oder der Kopf wird an einem Schweißwagen (Bild 17) befestigt und auf einer Fahrbahn über dem festliegenden Werkstück entlanggeführt, wobei die Fortbewegung selbsttätig mit einstellbarer Geschwindigkeit erfolgt.

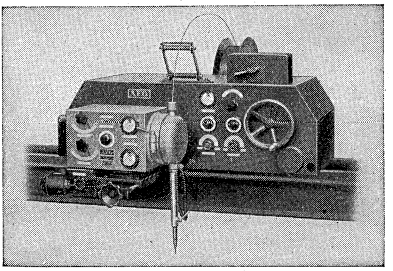


Bild 17. Drahtschweißkopf am Schweißwagen.

Die selbsttätige Schweißung bietet bei geeigneten Werkstücken den Vorteil, daß sie unter Ausschaltung der Geschicklichkeit, Aufmerksamkeit und Ermüdung des Schweißers mit den günstigsten einstellbaren Schweißwerten ausgeführt werden kann, und daß die bei der Handschweißung durch den Elektrodenwechsel auftretenden Unterbrechungen des Arbeitsvorganges wegfallen. Sie erzeugt daher Schweißungen mit gleichmäßig hohen Gütewerten bei größerer Arbeitsgeschwindigkeit und geringerem Strom- und Elektrodenverbrauch.

Auch für die Arcatomschweißung wurde ein Arcatom-Schweißkopf geschaffen, der bei längeren Schweißnähten an dünnen Blechen, die ohne Zusatzwerkstoff geschweißt werden können, in ähnlicher Weise benutzt wird.

Die Widerstandsschweißung.

Sie wird ausgeführt als Punkt-, Naht- oder Stumpfschweißung, wobei der elektrische Strom beim Durchgang durch die Schweißstelle sich in Wärme umsetzt, die bis zur Schweißhitze ansteigt. Die Vereinigung der zu schweißenden Teile erfolgt dann durch Druck (Preßschweißung).

Die Schweißungen werden sämtlich mit Wechselstrom von einigen Volt Spannung ausgeführt, zu dessen Erzeugung ein Umspanner benutzt wird, der zwecks Regelung der Schweißspannung auf der Oberspannungsseite mit einer Reihe von Anzapfungen versehen ist.

Die **Punktschweißung** kommt für Bleche und schwache Profileisen zur Anwendung (Bild 18). Die Bleche werden durch die in Arme eingespannten Elektrodenspitzen aus einer Kupferlegierung durch Betätigung eines Fußhebels zusammengedrückt und der Stromschluß herbeigeführt. Nach erfolgter Schweißung wird durch Freigabe des Fußhebels die Stromzuführung sofort unterbrochen. Das Abschalten kann auch selbsttätig durch ein Relais mit Schalter (Kontroller) erfolgen; hierbei müssen jedoch,

um einwandfreies Schweißen zu gewährleisten, die Blechoberflächen sauber sein. Die Punktschweißung wird bis zu Blechstärken von 2×7 mm (ausnahmsweise bis 2×10 mm) verwendet, und zwar für alle Eisen- und Stahlsorten. Bei Aluminium und seinen Legierungen sowie bei Messing liegt infolge der höheren Wärmeleitfähigkeit die obere Grenze der Punktschweißmöglichkeit bei 2× 3,5 mm, bei Kupfer bei 2×2 mm Blechdicke.

Für Arbeiten an größeren schwerbeweglichen Werkstücken (im Waggon- und Automobilbau, Blechverkleidungen von Maschinen) wird die Punktschweißzange benutzt, die von Hand oder am Kranhaken an das Werkstück herangebracht werden kann, wobei dann der Umspanner getrennt aufgestellt oder über dem Werkstück aufgehängt wird.

Zu beachten ist, daß mit einer Vergrößerung der Armausladung bzw. der Länge des Verbindungskabels zwischen Zange und Umspanner die Schweißleistung der Maschine zurückgeht und damit auch die verschweißbare Blechstärke geringer wird.

Die Nahtschweißung.

Werden die einzelnen Schweißpunkte so dicht aneinandergereiht, daß sie sich überschneiden, so entsteht eine fortlaufende Naht. Es sind jedoch zur Herstellung einer solchen Rollenelektroden zu verwenden, die an Stelle der Punktelektroden in die Arme eingesetzt und durch einen kleinen Motor angetrieben werden, wobei die Umfangsgeschwindigkeit der Rollen durch ein Vorgelege regelbar ist. Diese Art der Nahtschweißung ist nur für Bleche bis zu 2×2,0 mm verwendbar. An der Schweißstelle muß die Oberfläche der Bleche metallisch sauber sein.

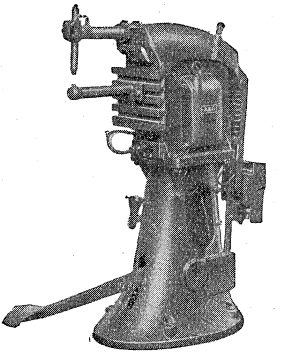


Bild 18.
Elektrische Punktschweißmaschine.

Zweckmäßig wird für die Nahtschweißung von Blechen über 1—3 mm Einzelblechstärke das Modulationsverfahren benutzt, bei dem der 50periodischen Netzspannung durch einen zusätzlichen Drehumspanner (Modulator) eine 3—11periodische kleinere Spannung überlagert wird, so daß in bestimmtem Rhythmus ein An- und Abschwellen der Schweißspannung eintritt. Eine Schweißung erfolgt jedesmal dann, wenn der dauernd durch die Rollen fließende Strom den Höchstwert erreicht. Es entsteht also eine Reihenpunktschweißung mit einem beeinflußbaren Punktabstand, bei der durch Zusammenballung der Stroms wärme auf kleiner Fläche eine sichere Verbindung bei Schonung des Werkstoffe. erreicht wird.

Für gut wärmeleitende Werkstoffe, wie alle Leichtmetall- und Kupferlegierungen, sind sowohl für Punkt- als auch Nahtschweißung Steuerungen erforderlich, bei denen die Erwärmungszeiten sehr kurz gehalten werden müssen. Bei Nahtschweißungen muß auch das Verhältnis Stromzeit zu Pause in gewissen Grenzen regelbar sein. Hier kommen Stromrichter mit Gittersteuerung oder die Kaskadensteuerung in Betracht. Letztere ist eine reine Maschinensteuerung und besitzt gegenüber der Gittersteuerung den Vorteil des einfacheren Aufbaues sowie der leichteren Überwachung und Wartung.

Die Stumpfschweißung.

Sie dient zur Verbindung von Formeisen aller Art bis zu den größten Querschnitten und kann für alle Stahlsorten verwendet werden. Es gibt zwei Arten für die Ausführung einer Stumpfschweißung: die Druckschweißung und die Abbrennschweißung. Bei der Druckschweißung werden die zu verbindenden Stoßflächen zusammengedrückt und dann der Schweißstrom hindurchgeschickt, der die Übergangsstelle zwischen den Schweißteilen sehr stark erhitzt. Ist die nötige Schweißhitze

erreicht, so erfolgt die Schweißverbindung durch starkes Zusammendrücken bei gleichzeitiger Abschaltung des Stromes. Dieses Verfahren wird nur noch bei kleinen Querschnitten ausgeübt, bei denen an Güte und Festigkeit der Schweißung keine besonderen Anforderungen gestellt werden. Es können nämlich bei diesem Verfahren in der Schweiße leicht Verunreinigungen zurückbleiben, außerdem wird der Werkstoff beiderseits der Schweißstelle in größerer Ausdehnuug erhitzt, wodurch eine Änderung im Gefüge eintreten kann.

Es wird daher fast ausschließlich die Abbrennschweißung verwendet. Bei ihr werden die Schweißteile nach Einleiten des Schweißstromflusses entweder so langsam einander genähert, daß sie sofort an den Stoßflächen abzubrennen beginnen, was so lange fortgesetzt wird, bis die erforderliche Schweißhitze und Ausdehnung der Wärmezone erreicht sind, oder die Schweißstücke werden in kurzen aufeinanderfolgenden Stößen wiederholt zur Berührung gebracht, bis eine genügende Vorerhitzung erreicht ist, welche die Einleitung des Abbrennvorganges möglich macht. Ist durch diesen die richtige Ausbildung der Erhitzungszone erreicht, so wird durch kräftiges Zusammenstauchen die Verbindung vollzogen. Es ergibt sich dann eine von Verunreinigungen freie Schweißstelle und der Werkstoff wird dabei möglichst geschont, da die Wärmezone sehr kurz gehalten werden kann.

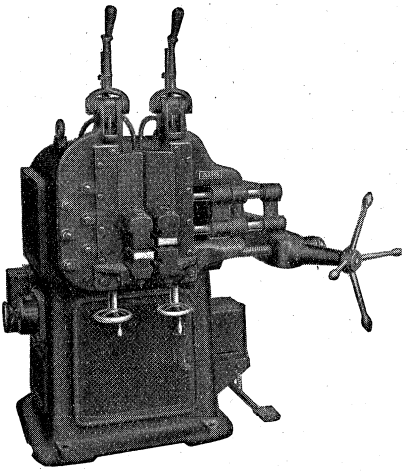


Bild 19.
Elektrische Widerstandsschweißmaschine.

Die üblichen Stumpfschweißmaschinen bestehen aus einem Ober- und Unterteil (Bild 19). Das Oberteil enthält die Einspannvorrichtung mit den nach vorn herausragenden Einspannbacken und die Stauchvorrichtung. Der luft- oder wassergekühlte Umspanner ist durch kurze Stromführungen mit den Backenpaaren verbunden. Die oberen Backen sind verstellbar, um die Schweißteile festspannen zu können. Das eine Backenpaar ist an einem mit Hebel oder Handkreuz verschiebbaren Schlitten befestigt, um es dem andern nähern oder von ihm fortbewegen zu können. Am Unterteil der Maschine sitzen Umspanner, Regelschalter für die Schweißspannung und Fußhebel zum Ein- und Ausschalten des Stromes.

Die handbetätigten Maschinen werden in verschiedenen Größen bis zum Verschweißen von Querschnitten von 6000 mm² ausgeführt, wobei sie innerhalb ihres Verwendungsbereiches wie die Punktschweißmaschinen durch oberspannungsseitige Anzapfungen des Umspanners in mehreren Stufen regelbar sind.

Größere Querschnitte verlangen infolge ihrer schwereren Handhabung (hohe Einspann- und Stauchdrücke) selbsttätig arbeitende mit Motoren ausgerüstete Maschinen.

Diese Maschinen werden in der sogen. Universal-Bauart (UMA) ausgeführt, die ein äußerst genaues und maßhaltiges Schweißen gestattet. Die Bedienung beschränkt sich auf das Einspannen des Werkstückes mit Hilfe von Spannmotoren, das Einstellen des Stauchdruckes, sowie der Regelstufe und der Abbrennlänge entsprechend den Erfordernissen des Werkstückes. Es ist dann nur noch das Einschalten der Maschine zur Einleitung des Schweißvorganges und das Ausspannen des fertig geschweißten Stückes erforderlich.

Der Schweißvorgang wird auf Grund des jeweiligen Wärmezustandes an der Schweißstelle elektrisch gesteuert und läuft ohne Unterbrechung selbsttätig ab. Man erhält damit Schweißergebnisse mit stets gleichbleibenden Bestwerten an Festigkeit und Maßhaltigkeit.

Elektrowärmegeräte in Haushalt und Gewerbe.

Verwendet wird die Widerstandsbeheizung. Die Heizkörper bestehen in der Hauptsache aus dem Heizleiter und dem Heizleiterträger. Als Heizleiter findet Chromnickeldraht oder -band Verwendung, während für die Heizleiterträger Isoliermaterial in Form von Mikanit, Steatit oder keramischer Masse verwendet wird. Je nach Verwendungszweck und der Höhe der erforderlichen Belastung werden die Heizelemente entweder flächenförmig ausgeführt, wobei die Isolierung durch Mikanit oder keramische Masse erfolgt (z. B. bei den Heizkörpern für Bügeleisen, Bild 20, Wasserkochern, kleineren Kochplatten usw.) oder als patronenförmige Heizkörper (Bild 21) mit keramischer Isoliermasse und metallischer Ummantelung, die zur Erwärmung von Flüssigkeiten dienen. Die Isolierung des Heizleiters kann auch durch keramische Werkstoffe, die bei hohen Temperaturen gebrannt werden, erfolgen, beispielsweise in Form von Perlen, die über den spiralenförmig gewickelten Heizleiter gezogen werden (Bild 22). Diese Ausführung findet vielfach bei Bratöfen Anwendung. Sollen große Leistungen auf kleinem Raum untergebracht werden, so werden die als Istrastäbe bekannten Stabheizkörper verwendet. Der Istrastab (isolierter Strahlstab), dessen Herstellungsverfahren der AEG durch DRP. geschützt ist, besteht aus einem Rohrmantel, in dem sich der Heizleiter, genau in der Mittelachse gelagert und von Isoliermasse umgeben, befindet. Mittels eines Hämmerverfahrens wird der Heizleiter so fest eingepreßt, daß weder Luftzutritt noch Verlagerung der Heizwendel möglich ist. Dieser Aufbau des Istrastabes gewährleistet eine fast unbegrenzte Lebensdauer, sowie die Vermeidung von Anfressungen des Heizleiters (Bild 23 und 24). Der Stabmantel wird je nach dem Verwendungszweck und den in Betracht kommenden Stabtemperaturen aus Flußstahl oder Chromnickelstahl, sowie aus Kupfer hergestellt. Im Bedarfsfall können die Kupferstäbe verzinnt oder vernickelt werden, während die Stäbe mit Stahlrohrmantel alumetiert werden können.

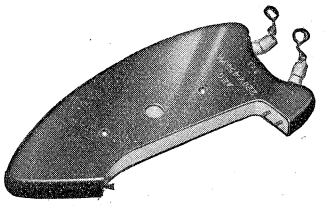


Bild 20. Masse-Heizkörper eines Bügeleisens. (Schnittbild)



Bild 21. Heizpatrone.

Die elektrische Haushaltküche.

Verbrauch in der Haushaltküche. Seit Einführung niedriger Kochstromtarife (Haushalttarife) hat sich die elektrische Küche in rasch steigendem Maße durchgesetzt, was sich durch die Vorzüge der elektrischen Energie, wie sofortige Betriebsbereitschaft, größte Betriebssicherheit, Sauberkeit u. a. m. erklärt. Zur Betriebskostenermittlung darf nicht der Anschlußwert eines Herdes zugrunde gelegt werden. Maßgebend ist nur die zu bereitende Speisenmenge, also die Zahl der zu beköstigenden Personen. Die aus langjährigen Erfahrungen ermittelten Werte zeigt folgende Tafel, aus der man den wertmäßigen Verbrauch je Tag ermitteln kann, indem man die Kilowattstunden-Zahlen mit dem Preis des Haushaltstromes je Kilowattstunde und der Personenzahl multipliziert.

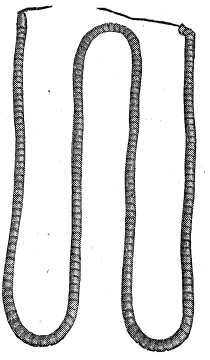


Bild 22. Perlenisolierter Heizwendel für Bratöfen.

Bild 23.
Istra-Stab.



Stromverbrauch in kWh je Kopf und Tag in der Elektroküche					
Personenzahl	2	3	4	5	6
Mittlerer Kochstromverbrauch einschl. Abspülwasser	0,85	0,70	0,62	0,55	0,50

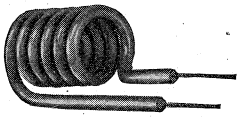


Bild 24. Schraubenförmig gewundener Istrastab (z. B. für Speicher).

Art der Herde. Man unterscheidet vollelektrische Herde und kohlekombinierte Elektroherde mit zwei bis vier elektrischen Kochstellen und eingebautem Brat- und Backofen.

Vollelektrische Herde werden, um allen Bedürfnissen und jedem Geschmack Rechnung tragen zu können, in folgenden Ausführungen hergestellt:

„Vollherd 38" mit keramischer Verkleidung (Bild 25), und } für den normalen
„Vollherd 36" mit eisenblechemaillierter Verkleidung } Haushalt
„Schrankherd", auch Stilherd genannt, für die moderne Kücheneinrichtung.
„Flachherd" mit Wärmenische für den anspruchsvolleren Haushalt (Bild 26).
„Elektro-Einbauherd" für Kachelherde. (Bild 27).

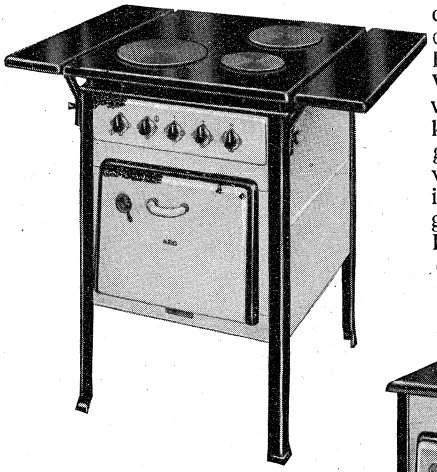


Bild 25. Vollherd mit keramischer Verkleidung.

Bei den ersten drei Herdformen liegt der Brat- und Backofen unterhalb der Kochplatten, während er bei den Flachherden seitlich angeordnet ist. Die Voll- und Schrankherde nehmen daher weniger Raum ein und können selbst in kleinen Küchen untergebracht werden, gegebenenfalls sogar neben einem schon vorhandenen Herd. Die Flachherde in ihrer breiten Bauform eignen sich dagegen in erster Linie für geräumigere Küchen. Der Einbauherd (Bild 27) wird dort verwendet, wo der festeingebaute Kachelherd vorgezogen wird. Er kann auch in vorhandene Kachelherde eingebaut werden.

Für einfachere Haushaltungen, Wochenendhäuser, Kantinen usw. werden vielfach Doppelkochplatten als Tischherde und daneben Einzelbratöfen (Bild 28) verwendet, die in Aufbau und Wirkungsweise den vollelektrischen Herden entsprechen. Diese Geräte können zufolge des geringen Anschlußwertes von 1,2 bis 3 kW in den meisten Fällen ohne Änderung der vorhandenen Leiterquerschnitte angeschlossen werden.



Bild 26. Flachherd.

„Kohlekombinierte Elektroherde“ (Bild 29) werden mit zwei oder drei elektrischen Kochstellen und seitlich angeordnetem Kohleteil in verschiedenen Ausführungen hergestellt, je nach der zu wählenden Beheizungsart.

Größenbestimmung der Herde. Im allgemeinen kommen Herde mit

2 elektrischen Kochstellen für 1 bis 4 Pers.,
3 elektrischen Kochstellen für 5 bis 8 Pers.,
4 elektrischen Kochst. für mehr als 8 Pers.,

in Frage.

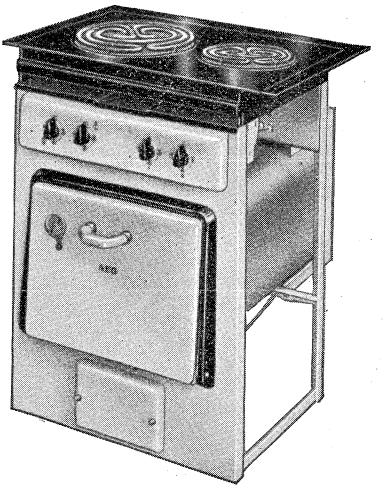


Bild 27. Elektro-Einbauherd mit Istra-Glühkochplatten.

Aufbau der Herde. Mit Ausnahme der AEG-Vollherde 38, bei welchen die Vorder- und Seitenwände aus Feinsteingut, der Boden und die Rückwand aus Asbestzementplatten bestehen, sind die mechanischen Bestandteile aller Herde allseitig emailliert bzw. emaillelackiert und daher rostgeschützt. Die elektrische Ausrüstung besteht aus den Kochplatten, den Bratofenheizkörpern, den Schaltern und der inneren Verdrahtung nebst Anschluß- und Erdungsschrauben. Die Herde sind so gebaut, daß sie, gleiche Spannung vorausgesetzt, an alle Stromarten angeschlossen werden können. Die elektrischen Teile sind nach den bestehenden Vorschriften überlauf- und berührungsgeschützt eingebaut und entsprechen nach Leistungsaufnahme und Abmessungen den im Normblatt DIN VDE 4910 festgelegten Bestimmungen.



Bild 28. Einzelbrat- und -Backofen.

Jede Kochplatte ist in drei Wärmestufen „stark - mittel - schwach“ regelbar. Man unterscheidet zwei Plattenarten, nämlich die geschlossene Gußkochplatte, bei der die Wärmeübertragung an den Topfboden durch Leitung erfolgen muß. Bei diesen Kochplatten ist die Verwendung von Elektrosondergeschirr mit ebenem Topfboden erforderlich. Die Wärme kann aber auch durch Strahlung an den Topfboden übertragen werden. Diese Übertragungsart findet bei der unter dem Namen „Istraplatte“ eingeführten Glühkochplatte statt (Bild 30). Die Istraplatte besteht aus einem kreisförmig gebogenen Heizstabsystem,

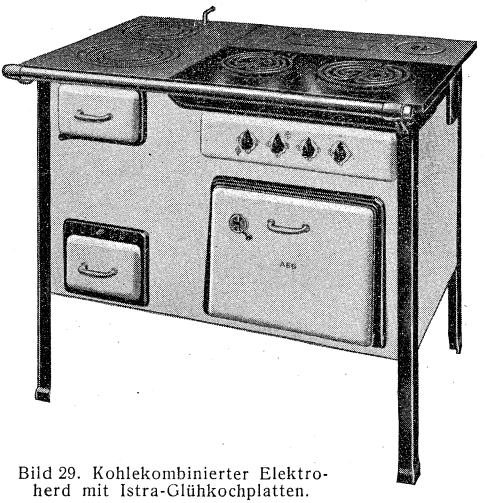


Bild 29. Kohlekombinierter Elektroherd mit Istra-Glühkochplatten.

das schon innerhalb weniger Minuten nach dem Einschalten zum Glühen kommt. Als besonderer Vorteil der Istraplatten ist die Verwendungsmöglichkeit des handelsüblichen Geschirrs zu werten, da bei der Wärmeübertragung durch Strahlung eine innige Berührung zwischen Topfboden und Kochplattenoberfläche nicht erforderlich ist.

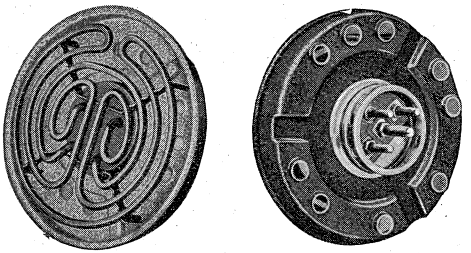


Bild 30. Istra-Kochplatte, links Ober-, rechts Unterseite.

Sämtliche Herde, welche Stiftkochplatten besitzen, können wahlweise mit Guß- oder Istra-Kochplatten ausgerüstet werden. Ebenso ist die nachträgliche Auswechslung von Guß-Kochplatten gegen Istra-Kochplatten oder umgekehrt möglich.

Die Bratöfen sind mit Ober- und Unterhitze ausgerüstet, die ebenfalls je dreifach regelbar sind.

Leitungsbemessung und Anschluß der Herde. Bei der Berechnung der Leitungsquerschnitte zum Anschluß des elektrischen Herdes ist zu berücksichtigen, daß erfahrungsgemäß ein solcher nie mit seinem vollen Anschlußwert betrieben wird. Die nachfolgende Tafel gibt einen Überblick über die Abhängigkeit des Belastungswertes von dem Anschlußwert des Herdes:

Herdanschlußwert in kW etwa	Erfahrungsgemäße Höchstlast eines elektrischen Herdes (vorübergehende Einzelspitze) in kW
3,0 bis 4,0	2,4 = 60 bis 70 % des Anschlußwertes
5,5 bis 6,5	3,5 bis 4 = 50 bis 60 % des Anschlußwertes

Wesentlich ermäßigt sich der Lastanteil des einzelnen Herdes bei großen Herdgruppen, besonders also in Siedlungen, weil nicht alle Herde zu gleicher Zeit und in voller Belastung benutzt werden. Bei einer Anzahl von 25 bis 100 Haushaltungen ergeben sich die Werte nachstehender Tafel:

Herdanschlußwert in kW etwa	Lastanteil des einzelnen Herdes großer Herdgruppen in kW etwa
3,5	0,65 = 20 % des Anschlußwertes
6,0	0,85 = 15 % des Anschlußwertes

In elektrisch kochenden Siedlungen muß also je Haushalt ungefähr 1 kW Umspannerleistung vorhanden sein.

Beim Anschluß der Herde sind die Vorschriften für den Berührungsschutz zu beachten (Erdung, Nullung, Schutzschaltung), vgl. Seite 417.

Für die Bemessung der Herdleitung gibt nachstehende Tafel einen allgemeinen Anhalt.

Herdanschlußwert in kW (bei 220 V)	Mindestquerschnitt*) in mm²
bis 2,2	1,5
bis 3,3	2,5
bis 4,4	4,0

*) ohne Berücksichtigung des Spannungsverlustes.



Bild 31.
Beweglicher Herdanschluß mittels Herdanschlußgerätes.

Tischherde, Doppelkochplatten, Einzelbratöfen bis 2 kW Anschlußwert werden vielfach mittels dreiadriger Zuleitung mit Schutzkontaktstecker angeschlossen.

Stehende Herde (Herde mit Kochplatten und Bratofen) werden mittels einer besonderen Zuleitung angeschlossen, wobei der Zähler entweder als Haupt- oder auch als Unterzähler geschaltet ist. In einigen Fällen werden aus Tarifgründen auch Doppeltarifzähler in Verbindung mit Schaltuhren gesetzt.

Obwohl der Herd kaum jemals voll benutzt wird, ist doch die Zuleitung vom Zähler zum Herd möglichst für den vollen Anschlußwert zu bemessen. Es wird deshalb in der Regel für Haushaltherde der üblichen Größen bei 220 V Anschlußspannung ein Mindestquerschnitt von 2×4 mm² verlangt.

Für die gemeinsame Steigleitung für mehrere Wohnungen ist jeder Herd im allgemeinen mit 70% seines Anschlußwertes einzusetzen. Eine genauere Prüfung der Belastungsverhältnisse seitens der E. W. führt häufig noch zu einem günstigeren Ergebnis. Die Bemessung der Anschlußleitungen in einer Siedlung erfordert eine besondere Durchrechnung.

Es empfiehlt sich, den einzelnen Herd mittels einer beweglichen Leitung anzuschließen.

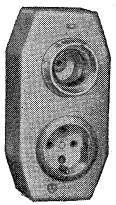


Bild 32.
Herdanschlußgerät, einpolig gesichert.

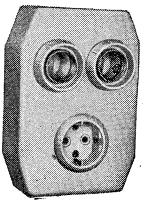


Bild 33.
Herdanschlußgerät, zweipolig gesichert.



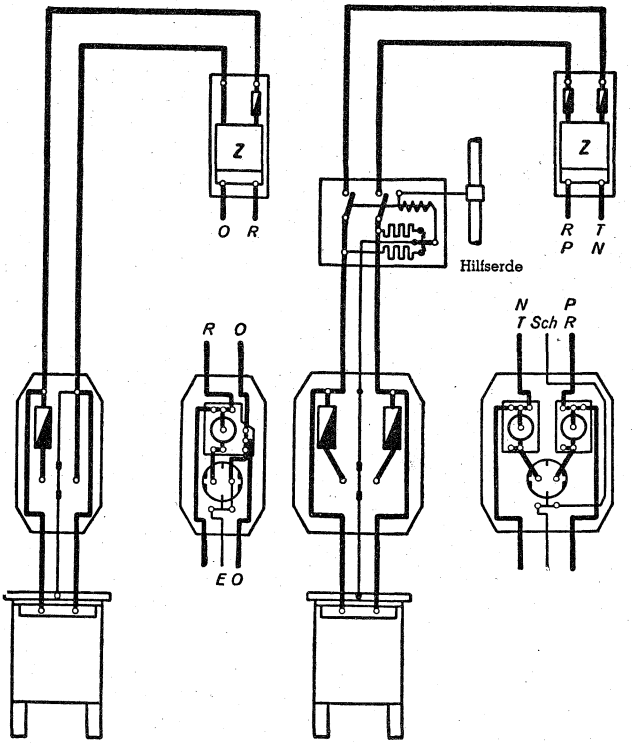
Bild 34. Zweipoliger Trennungsschutzschalter mit Fehlerspannungsspule und Prüftaste.



Bild 35.
Herdanschlußgerät nach Abnahme der Schutzkappe.

Dieser bewegliche Herdanschluß hat den Vorteil der besseren Reinigungsmöglichkeit des Herdes und einer gewissen Unabhängigkeit von der Leitungsführung. Zweckmäßig ist es, in unmittelbarer Nähe des Herdes einen Zusatzanschluß mit Steckdose vorzusehen für eine schnelle Warmwasserbereitung mittels eines Wasserkochers oder Tauchsieders, für eine Stielbratpfanne u. dgl. (Bild 31). Bei Werken mit Kochtarifen kann diese Steckdose in die Herdzuleitung eingefügt werden, wobei der Abzweig besonders ge-

sichert wird. Sie muß Schutzkontakte besitzen, um die Benutzung für Lampen u. dgl. mit gewöhnlichen Steckern auszuschließen. Aber auch bei Werken mit Einheitstarif ist die Anordnung in der Herdzuleitung zweckmäßig, weil eine besondere Zuleitung gespart wird, und die Steckdose sich zugleich in Herdnähe befindet. Die Abzweigdose für den Übergang von der festen auf die bewegliche Leitung ist mit der Zusatzsteckdose nebst zugehöriger Sicherung in dem Herdanschlußgerät vereinigt (Bild 32). Die Anbringung erfolgt zweckmäßig unmittelbar seitlich von der Herdplatte in Bedienungshöhe, damit die Anschlußleitung nicht etwa auf heiße Kochplatten zu liegen kommt. In Anlagen ohne Nulleiter ist das Herdanschlußgerät mit zwei Sicherungen für den Dosenanschluß versehen (Bild 33). In schutzgeschalteten Anlagen wird man den Schutzschalter (Bild 34) unmittelbar über dem Herdanschlußgerät anordnen, so daß er auch als Hauptschalter zu verwenden ist. Bild 35 zeigt das Herdanschlußgerät nach Abnahme der Kappe, Bild 36 Schaltungsbeispiele.



Nullung
Wechselstrom:
Phase und Null.

Schutzschaltung
Gleichstrom:
Zwei Außen- und Schutz-(Erd-)leiter.
Wechselstrom:
Zwei Phasen- und Schutz-(Erd-)leiter.

Bild 36. Schaltungsbeispiele für den Herdanschluß.

In den Fällen, wo zu völligem Stromlosmachen des Herdes ein Hauptschalter vorgeschrieben ist, kann das Gerät mit einem Paketschalter versehen werden (Bild 37). Da die Regelschalter am Herd auf Grund der technischen Lieferbedingungen für Elektrohaushaltherde den betreffenden Geräteteil (Kochplatte usw.) stets allpolig abschalten müssen, haben Hauptschalter nur Bedeutung als zusätzliche Bedienungssicherheit für den ganzen Herd. Das Anschlußgerät kann ferner noch mit einer Überwachungslampe ausgestattet werden.

Die vermehrte Benutzung von Elektrowärmegeräten unter Verwendung der vorhandenen Leitung durch Belastung derselben bis zur zulässigen Erwärmungsgrenze wird durch Elfa-Leitungsschutz-Automaten (Type L) ermöglicht, deren thermische Auslöser so eingestellt sind, daß sie der wirklichen Wärmebelastbarkeit

der Leitung entsprechen. Die sich gegenüber der Verwendung der normalen D-Sicherung ergebende mögliche Belastung ist in Bild 38 dargestellt.

Bei Verwendung der Elfa-Leitungsschutz-Automaten muß auf die richtige Auswahl der vorgeschalteten Hausanschlußsicherung geachtet werden, damit im Überlastungsfalle dieselbe nicht eher anspricht als der Automat. Gute Selektivität wird erreicht, wenn dem Selbstschalter kurz- (KT-) oder langverzögerte (Tardo-) Sicherungen vorgeschaltet sind (siehe Tafel).

Es hält vor einem	Leistungsschutz-Automaten		
	6 A	10 A	15 A
eine langverzögerte Tardo-Sicherung	10 A	15 A	20 A
eine kurzverzögerte KT-Sicherung	15 A	20 A	25 A
eine unverzögerte D-Sicherung	20 A	25 A	35 A

Elektrische Heißwasserversorgung.

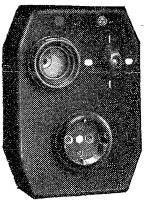


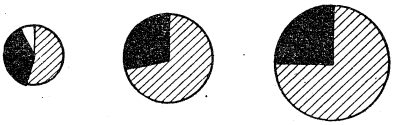
Bild 37. Herdanschlußgerät mit eingebautem Hauptschalter.

Der stets betriebsbereite Heißwasserspeicher übernimmt die Heißwasserversorgung in der Küche, am Spültisch (Bild 39), im Badezimmer usw. Wegen der Vermeidung von Rauch, Ruß und gesundheitsschädlichen Verbrennungsgasen werden diese elektrisch beheizten Geräte vorzugsweise auch in Hotels, Speisewirtschaften, Kaffeehäusern verwendet und ferner von Ärzten, Zahnärzten, Apothekern und anderen Berufen benützt. Größere Heißwasserspeicher werden für die zentrale Heißwasserversorgung in Krankenhäusern, Sanatorien, Badeanstalten, landwirtschaftlichen und gewerblichen Betrieben jeden Umfanges verwendet.

Aufbau.

Der Heißwasserspeicher besteht aus einem allseitig geschlossenen Innenbehälter, in dessen Boden der abnehmbare Heizflansch mit selbsttätigem Temperaturregler eingebaut ist. In diesem Behälter wird das Wasser durch die elektrischen Heizkörper erwärmt und zur Entnahme bereitgehalten. Der Wasserbehälter ist von einer starken Wärmeschutzschicht umgeben, die durch eine weißlackierte Eisenblechummantelung nach außen hin abgeschlossen wird. Speicher werden bis zu einem Inhalt von 120 Liter für Wandbefestigung ausgeführt, größere Speicher von 200 Liter an aufwärts als Standspeicher.

Je nach dem Werkstoff des Innenbehälters unterscheidet man Speicher aus Porzellan, verzinntem Kupferblech und verzinktem Stahlblech. Die Niederdruckspeicher mit einem Innenbehälter aus Porzellan oder verzinntem Kupferblech können als offene Überlaufspeicher oder als Entleerungsspeicher betrieben werden. Hochdruckspeicher sind grundsätzlich ebenso aufgebaut wie die Niederdruckspeicher, haben aber einen stärkeren und druckfesten Innenbehälter aus verzinktem Stahlblech.



d. h. an vorhandene Leitungen können bei VDE-mäßiger Absicherung (Ws 220 V) angeschlossen werden:

	1 mm²	1,5 mm²	2,5 mm²
bei Sicherung	6 A 1,32 kW	10 A 2,2 kW	15 A 3,3 kW
bei Elfa-L	6 A 2,2 kW	10 A 3,1 A	15 A 4,4 kW

Bild 38. Ausnutzung der Leitungen durch Elfa-Leitungsschutz-Automaten.

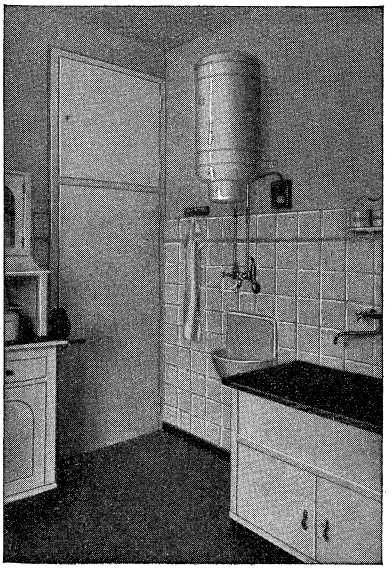


Bild 39. Heißwasserspeicher in der Küche.

Betriebsweise.

Die Speicherung ermöglicht neben der Ausnutzung des meist sehr niedrigen Nachtstromtarifes die Entnahme vergleichsweise großer Mengen heißen Wassers in kürzester Zeit. Der vorzügliche Wärmeschutz verringert den Wärmeverlust auf ein Mindestmaß. Der elektrische Teil erfordert keinerlei Bedienung, da das Ein- und Abschalten ein selbsttätiger Temperaturregler besorgt.

Überlaufspeicher.

Die Niederdruckspeicher können als Überlaufspeicher (Bild 40) mit Schwenkrohr am Überlaufrohr oder mit Mischbatterie verwendet werden. Letztere gestattet eine beliebige Mischung des heißen Speicherwassers mit dem kalten Leitungswasser. In beiden Fällen steht der Speicherinnenbehälter nicht unter Wasserleitungsdruck, sondern ist stets offen mit der Außenluft verbunden (offener Speicher). Beim Öffnen des Hahnes a (Bild 40) tritt kaltes Wasser von unten ein, so daß bei e das oben im Speicher entnommene Heißwasser austritt. Der Speicher bleibt stets gefüllt.

Entleerungsspeicher.

Die Niederdruckspeicher können auch als Entleerungsspeicher (Bild 41) (Ablaufspeicher) betrieben werden, wobei das Überlaufrohr ebenfalls als Sicherheitsrohr offen bleibt. Die Heißwasserentnahme erfolgt dann durch rückläufige Entleerung des Speichers über das Zulaufrohr. Eine Schädigung der Heizkörper oder des Speichers durch Trockengehen (Einschaltung ohne Wasserfüllung) ist durch den sogenannten Trockengehschutz verhindert. Als Entleerungsspeicher können nur die Wandspeicher von 30 bis 120 Liter Inhalt bzw. bis 1800-W-Nennaufnahme Verwendung finden. Niederdruckentleerungsspeicher mit kupferverzinntem Innenbehälter werden aus

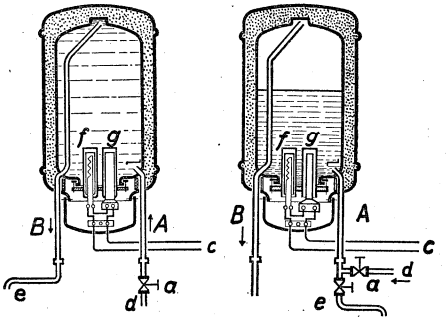


Bild 40. Überlaufspeicher.

Bild 41. Entleerungsspeicher.

Bild 42. Hochdruckspeicher.

A. Zulaufrohr.
B. Überlaufrohr.
a) Absperrhahn.
b) Ablaßhahn.
c) Elektrische Zuleitung.
d) Wasserzuleitung.
e) Heißwasserentnahme.
f) Heizkörper.
g) Temperaturregler.
h) Rückschlagventil.
i) Sicherheitsventil.
k) Druckminderungsventil.
l) Abwasserleitung.

Sicherheitsgründen entweder mit einer Wasserstandsarmatur oder Inhaltsuhr versehen, während bei solchen Speichern mit Porzellaninnenbehälter nur der Anbau einer Inhaltsuhr möglich ist.

Niederdruckspeicher von 80, 100 und 120 Liter Inhalt besitzen eine Anzapfung in etwa zwei Drittel Höhe des Speichers, durch welche das obere Drittel des Inhalts an einer anderen Stelle entnommen werden kann.

Hochdruckspeicher.

Die Hochdruckspeicher (Bild 42) arbeiten unter Wasserleitungsdruck und sind daher besonders für Heißwasserentnahme an mehreren, auch in verschiedener Höhe befindlichen Zapfstellen geeignet. Sie kommen für zentrale Versorgung verzweigter Heißwasseranlagen in Betracht.

Zur Sicherung gegen schädlichen Überdruck müssen Hochdruckspeicher stets mit Sicherheitsventil und Rückschlagventil ausgerüstet werden. Bei mehr als 5 bis 6 at ist ein Druckminderventil in die Kaltwasserzuleitung einzubauen.

Beheizung.

Die Beheizung der Speicher erfolgt entweder durch Patronenheizkörper, welche in Schutzhülsen des Heizflansches leicht austauschbar untergebracht sind (Bild 43), wobei die Stromaufnahme für achtstündige Aufheizzeit bemessen ist, oder durch Stabheizflansche mit hoher Leistung für rasche Aufheizung des Speicherinhaltes. Die Patronenbeheizung mit niedrigem Anschlußwert wird hauptsächlich dann vorgesehen, wenn die Ausnutzung billigen Nachtstromes in Frage kommt. Patronenflansche, wie auch Stabflansche haben gleiche Abmessungen und können daher im Bedarfsfall gegenseitig ausgewechselt werden.

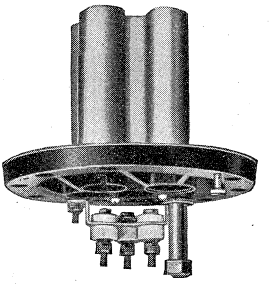


Bild 43. Heizflansch.

Eine doppelte Beheizung besitzt der Zweikreis-Niederdruckspeicher, welcher neben der für seine Größe üblichen Beheizung mit einem zusätzlichen Heizkörper ausgerüstet ist, um bei erhöhtem Bedarf an Warmwasser kurzzeitig nachzuheizen. Das Einschalten des zweiten Heizstromkreises erfolgt am zweckmäßigsten mit einem Kipphebel-Selbstschalter. Für die Stufenschaltung der Heizleistung mit einer Gesamtnennaufnahme von 3 kW können bei 220-V-Wechselschalter in Sonderausführung für 15 A und beim Zweikreisspeicher mit einer Gesamtleistung von 4,5 kW solche für 25 A Verwendung finden.

Anschluß.

Die Speicher werden anschlußfertig geliefert, so daß in elektrischer Hinsicht bei ihrem Einbau nur die Verbindung mit dem Netz hergestellt werden muß.

Obwohl der Temperaturregler selbsttätig die Aus- und Einschaltung bei bestimmten Wassertemperaturen besorgt, und damit jeglicher Stromverschwendung vorbeugt, kann der Speicherbetrieb unter Verwendung von Druckknopfauslösern, die in die elektrische Zuleitung eingebaut werden, noch sparsamer gestaltet werden. Sie lösen beim Abschalten des Temperaturreglers aus und schließen den Stromkreis erst wieder nach Betätigung von Hand, also unabhängig vom Rückgang des Reglers in seine Einschaltstellung.

Armaturen für Wasserentnahme vom Überlaufspeicher.

Es kommen in Frage: Ventildurchgangshahn und Schwenkrohr, wenn der Speicher lediglich heißes Wasser liefern soll. Für Wassermischung wird eine Überlaufmischbatterie vorgesehen, die für Badezwecke unter der Bezeichnung „Badearmatur“ auch

mit Umschalthahn und Handbrause ausgerüstet ist. Daneben werden auch Armaturen in Sonderausführungen für Ärzte geliefert.

Armaturen für Wasserentnahme vom Entleerungsspeicher.

Für die Entnahme von nur heißem Wasser gibt es einfache Entleerungsarmaturen. Für Wassermischung werden auch Entleerungsmischbatterien geführt (Bild 44).

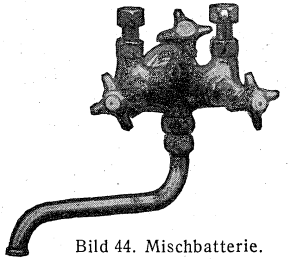


Bild 44. Mischbatterie.

Bestimmung der Speichergröße.

Vor der Beschaffung eines Heißwasserspeichers ist zu ermitteln, welche Heißwassermenge das Gerät täglich oder während acht Stunden abgeben soll. Ferner ist festzustellen, in welcher Art die Heißwasserentnahme erfolgt, ob zum Beispiel die Entnahme nur an einer Zapfstelle unmittelbar unter dem Speicher gewünscht wird, oder ob mehrere Zapfstellen versorgt werden sollen. Die Speichergröße bzw. die Nennaufnahme der Heizkörper ist stets so reichlich zu wählen, daß die größte Heißwassermenge an jedem Tag gedeckt werden kann. In der nachstehenden Zahlentafel sind ungefähre Erfahrungsangaben enthalten, welche Speichergrößen im Haushalt, in Abhängigkeit von der Personenzahl zu wählen sind. (Als „Wannenbad" sind dabei etwa 200 Liter Badewasser von 36° C angenommen. Kaltwassertemperatur 10° C, Mischbatterie höchstens 0,5 m vom Speicher entfernt.)

Speicher-größe Inhalt Liter	Nenn-aufnahme etwa W	ausreichend für etwa Personen für Küchenversorgung im Haushalt	
		bei Daueranschluß (Tag- und Nachtstrom)	als Nachtspeicher (nur Nachtstrom)
5	600 oder 1200	für 1 bis 2 Personen	—
10	1200 oder 2000	für 2 bis 5 Personen	—
30	450	für 3 bis 4 Personen	für 2 bis 3 Personen
50	600	für 5 bis 7 Personen	für 4 bis 5 Personen
80	1000	für 4 bis 5 Personen u. 1 Wannenbad täglich	für 6 bis 8 Personen ohne Bad oder: 1 Wannenbad ohne Küchenversorgung
100	1200	für 6 Personen und 1 Wannenbad täglich	für 10 Personen ohne Bad oder: 2 Personen und 1 Wannenbad täglich
120	1500	für 4 Personen und 2 Wannenbäder täglich	für 4 Personen und 1 Wannenbad täglich

Im Daueranschluß bei Inanspruchnahme von Tagesstrom kann aus Speichern mit erhöhter Nennaufnahme (zum Beispiel 3 kW, 4,5 kW, 6 kW) im Verlauf des Tages je nach Aufheizzeit das Mehrfache des Inhaltes entnommen werden.

Die Kosten für die Heißwasserbereitung in elektrisch beheizten Speichern oder Spendern lassen sich überschlägig dadurch ermitteln, daß man für die Erwärmung von je 10 Liter Wasser von Leitungstemperatur auf 85° C den Verbrauch von 1 kWh in Rechnung setzt.

Wasserverhältnisse.

Bei der Auswahl der Speicher ist zu berücksichtigen, daß solche mit stahlverzinktem Innenbehälter bei angreifendem Wasser erfahrungsgemäß nur eine beschränkte Lebensdauer haben, weil das Wasser sowohl die Schutzschicht, als auch den eigentlichen Innenbehälter angreift und im Laufe der Zeit zerstört. Über die Eigenschaften des Wassers kann eine Wasseruntersuchung Aufschluß geben. Vorsicht ist geboten, wenn der Härtegrad des Wassers geringer als 10 DH ist, ferner wenn angreifende Kohlensäure im Wasser enthalten ist, oder wenn Chlor, Sauerstoff und Kohlensäure im Wasser gelöst sind. Bei hartem, kalkhaltigem Wasser von mehr als 15 DH bestehen im allgemeinen keine Bedenken, sofern angreifende Kohlensäure oder andere Gase fehlen. Die Untersuchung von Wasser muß an Ort und Stelle erfolgen.

Heißwasserspeicher mit Porzellaninnenbehälter oder kupferverzinntem Innenbehälter können im allgemeinen sowohl bei angreifendem als auch bei stark kalkhaltigem Genußwasser verwendet werden, jedoch ergibt sich dann die Notwendigkeit, den Heizflansch des Speichers in regelmäßigen Zeitabständen (für gewöhnlich nach acht- bis zwölfmonatigem Betrieb) herauszunehmen und denselben sowie auch den Innenbehälter von etwa angesetztem Kesselstein zu befreien.

Wasserbeschaffung.

Wo der Anschluß an eine Ortswasserleitung nicht möglich ist, wie in einzelstehenden Landhäusern, in Gutshäusern, Gehöften auf dem Lande usw. lassen sich die Annehmlichkeiten der öffentlichen Wasserversorgung durch Einbau einer selbsttätig arbeitenden Hauswasserversorgungsanlage erreichen. Die Vorzüge der eben beschriebenen elektrischen Einrichtungen (Elektroküche, Heißwasserspeicher) kommen erst dadurch voll zur Geltung.

Bei Planung einer Pumpenanlage ist zu beachten, daß die Gesamtförderhöhe (Bild 45) sich zusammensetzt aus:

1. der Saughöhe a, d. h. dem senkrecht gemessenen Abstand zwischen Pumpe und dem abgesenkten Wasserspiegel,
2. der Druckhöhe b, d. h. dem senkrecht gemessenen Abstand zwischen Pumpe und höchster Zapfstelle,
3. den Verlusten, die durch Reibung in Rohrleitungen, Krümmern, Ventilen usw. entstehen. Sie können in ungünstigen Fällen (enge und lange Rohrleitungen) mehrere Meter Wassersäule betragen.

Die Pumpensätze können sämtlich betätigt werden:
von Hand durch gewöhnliche Dosenschalter (besondere Anlasser sind, mit Ausnahme größerer Pumpen, nicht erforderlich),
selbsttätig, entweder in Verbindung mit:
a) Hochbehälter und Anstoßschalter, oder
b) Druckwasserkessel und Druckschalter (Druckregler).

Die Wasserentnahme erfolgt bei einem selbsttätigen Pumpwerk mit Hochbehälter oder mit Druckwasserkessel genau so einfach wie beim Anschluß an eine öffentliche Wasserversorgung durch Öffnen des Zapfhahnes.

Bei selbsttätig wirkenden Wasserversorgungsanlagen mit Hochbehälter betätigt ein Schwimmer mittels eines Seils mit Anschlägen den Anstoßschalter, der den Pumpenmotor ein- und ausschaltet. Dadurch wird der Wasserstand im Hochbehälter innerhalb einstellbarer Grenzen aufrechterhalten.

Bei Verwendung eines Druckwasserkessels wird die den oberen Teil des Kessels ausfüllende Luft beim Vollpumpen des Kessels zusammengepreßt. Sie drückt beim Öffnen eines Zapfhahnes das Wasser aus dem Kessel heraus. Gleichzeitig betätigt die Druckluft den Druckschalter, der durch Ein- und Ausschalten des Pumpenmotors den Druck innerhalb der eingestellten Grenzen aufrechterhält. Das Luftpolster ermöglicht die Entnahme kleinerer Wassermengen ohne jedesmaliges Anlaufen der Pumpe. Zur Aufrechterhaltung des Luftpolsters ist bei den AEG-Schieberpumpen zwischen den beiden Pumpenstutzen und bei einigen Kreiselpumpen am Saugstutzen (bei Kolbenpumpen am Zylinder) ein Schnüffelventil eingebaut, das von Zeit zu Zeit zu öffnen ist. Bei großen Kesseln über 500 Liter Inhalt ist meist eine besondere Handluftpumpe erforderlich.

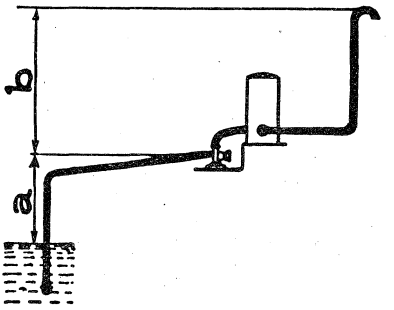


Bild 45. Pumpenanlage für Hauswasserversorgung.

Druckwasserkessel haben gegenüber Hochbehältern den Vorteil, daß das Wasser stets frisch bleibt, und daß vom Brunnen bis zur Entnahmestelle ein vollkommen geschlossenes Rohrsystem vorhanden ist.

Zur Verminderung des Geräusches wird der Druckstutzen der Pumpe mit dem Druckwasserkessel zweckmäßig durch ein Stück Gummischlauch verbunden.

Zum Schutze der Motoren, z. B. beim Ausbleiben der Spannung einer Phase oder bei Überlastung, sind Motorschutzschalter vorzusehen.

Man rechnet je Tag bei einer Hauswasserversorgungsanlage mit einem Verbrauch von:

20 bis 25 Liter je Kopf,
50 bis 60 Liter für ein Pferd bzw. Großvieh,
5 bis 10 Liter für ein Kleinvieh (Kalb, Schwein oder Schaf).

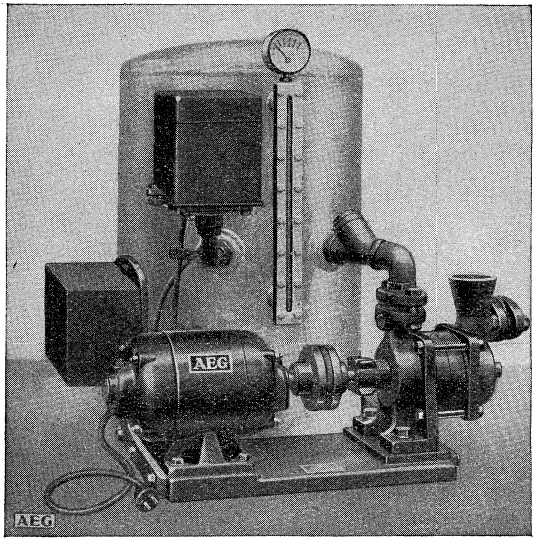


Bild 46. Hauswasserpumpenanlage.

Zum Gartensprengen kann bei einem mittleren Grundwasserstand von 2 bis 3 m unterhalb der Erdoberfläche in normalen Sommern mit einem Verbrauch von etwa 5,5 bis 8,5 Liter je Quadratmeter gerechnet werden, in trockenen Sommern entsprechend mehr.

Hiernach ist der Verbrauch von Wasser in Kubikmeter-Stunden zu ermitteln. Übliche Größen der Druckwasserkessel liegen zwischen 150 und 500 Liter Inhalt. Bei zeitweise größerer Wasserentnahme, z. B. Besprengen einer größeren Rasenfläche, muß der Inhalt entsprechend der Förderleistung der Pumpe je nach Umständen größer gewählt werden.

Als Pumpen kommen Schieberpumpen GEA für Leistungen bis 2 m³/Std und Gesamtförderhöhen bis 30 m in Frage, die aber klares, sandfreies Wasser verlangen. Für größere Mengen werden Kreiselpumpen, für große Druckhöhen Kolbenpumpen verwendet.

Die Pumpen können sowohl für Dreh- als auch für Gleichstrom geliefert werden, bei kleinen Leistungen auch für einphasigen Anschluß.

Die Pumpen sind selbstansaugend, doch müssen bei den GEA-Pumpen erstmalig der Saugstutzen sowie die Saugleitungen mit Wasser aufgefüllt werden.

Bild 46 zeigt eine Hauswasserpumpenanlage mit Druckwasserkessel und Zubehör.

Elektrische Raumbeheizung.

Allgemeines.

Neben der bekannten Übergangsheizung mit Strahlöfen, Leuchtöfen oder Ventilatoröfen hat die elektrische Vollraumheizung heute bereits in zahlreichen Fällen Anwendung gefunden, insbesondere dort, wo die Einräumung eines billigen Stromtarifes die Wirtschaftlichkeit gewährleistet oder wo auch bei höheren Strompreisen besondere Umstände und die anerkannten Vorteile der elektrischen Vollraumheizung zur Tragung höherer Betriebskosten berechtigen.

Anschlußwerte.

Voraussetzung für die Erreichung der gewünschten Raumtemperatur ist die richtige Bemessung des Gesamtanschlußwertes der in einem Raum unterzubringenden elektrischen Öfen. Der Anschlußwert bzw. der Wärmebedarf des Raumes hängt ab von der verlangten Innentemperatur, die bei einer bestimmten Außentemperatur erreicht werden soll, ferner von der Anheizzeit, Wärmedurchlässigkeit der Begrenzungsflächen des Raumes (Wände, Fußboden, Decke, Fenster und Türen) und von der Belüftung. Eine hinreichend genaue Berücksichtigung dieser Einflüsse ist nur durch eine Wärmebedarfsrechnung nach DIN 4701 möglich. Mit nachstehenden Angaben kann eine Überschlagsberechnung durchgeführt werden, ohne daß damit aber ein Ersatz für die genaue Wärmebedarfsrechnung gegeben ist. Die Tabelle enthält die spezifischen Wärmedurchgangsziffern in Watt für 1 m² Begrenzungsfläche des zu beheizenden Raumes, in Abhängigkeit von dem Temperaturunterschied, der zwischen Innenraumtemperatur und Außentemperatur erreicht werden soll.

Art der Begrenzungsflächen des Raumes	Bei folgenden Temperaturunterschieden zwischen Außentemperatur und Raumtemperatur in °C sind je 1 m² Begrenzungsfläche in Rechnung zu setzen W/m²					
	10° C	20° C	25° C	30° C	35° C	40° C
Wände aus Ziegelmauerwerk, beiderseitig verputzt:						
Stärke 12 cm = ½ Stein	29	58	74	87	100	115
Stärke 25 cm = 1 Stein	20	40	50	60	70	79
Stärke 38 cm = 1½ Stein	16	31	39	46	55	62
Fußboden und Decke*), Holzbalkenlage unten verputzt, Oberseite 1,8 cm Holzdielung	14	29	35	43	—	—
Hohlsteindecke mit Zementglattstrich ohne Belag	17	35	44	52	61	70
Innentür, Holz	35	70	87	105	—	—
Außentür, Holz	52	105	130	157	185	210
Außentür, Eisen	75	150	190	225	265	300
Einfachfenster, Holzrahmen	58	115	145	175	200	230
Doppelfenster, Holzrahmen	29	58	73	87	100	115

*) Es ist angenommen, daß sich unter dem Fußboden bzw. über der Decke ein geschlossener Raum befindet.

Beispiel: Für ein Wohnzimmer von 4×5 m Grundfläche und 3 m Höhe mit einer Tür und zwei Doppelfenstern würde für + 20° C Innentemperatur bei — 20° C Außentemperatur der Gesamtanschlußwert überschlägig wie folgt zu ermitteln sein:

Art der Begrenzungsflächen des Raumes	Fläche m²	Größter Temperatur-Unterschied °C	Watt m²	Anschlußwert für die ganze Fläche in Watt
2 Außenwände 1½ Stein	22,5	40	62	1400
2 Innenwände 1 Stein	24,5	10	20	490
2 Doppelfenster (Holzrahmen)	4,5	40	115	517
1 Innentür (Holz)	2,5	10	35	88
Fußboden*) } Balkenlage, unten verputzt Oberseite 1,8 cm starke Holz-	20	10	14	280
Decke*) } dielung	22	20	29	580
Insgesamt erforderlicher Anschlußwert:				3355

*) Es ist angenommen, daß sich unter dem Fußboden bzw. über der Decke ein geschlossener Raum befindet.

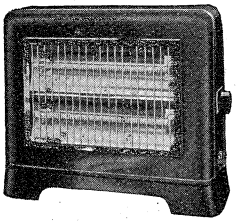


Bild 47. Leuchtofen.

Es empfiehlt sich, stets die Leistung etwas reichlicher zu bemessen, da bei größerem Anschlußwert die Durchheizung des Raumes schneller vor sich geht. Dazu kommt, daß in vielen Fällen noch für schlecht heizbare Räume, die z. B. viele Außenwände aufweisen oder verhältnismäßig große Fensterflächen besitzen, ungeschützte Lage der Außenflächen in bezug auf Windangriff usw., entsprechende Zuschläge von 10 bis 30% gemacht werden müssen. Bei dem obigen Beispiel käme daher ein Gesamtanschlußwert von rund 4 kW in Betracht.

Als Heizkörper (s.u.) sind dafür vorzusehen: ein Universalofen 3 kW und ferner für die Übergangsheizung und als zusätzliche Heizung für besonders kalte Tage noch ein Leuchtofen 1 kW.

Für eine ungefähre Schätzung des Anschlußwertes für Wohnräume der üblichen Bauart (Raumtemperatur von + 20° C bei einer Außentemperatur von — 20° C) kann man folgende Erfahrungswerte benutzen:

Für Räume von 10 bis 50 m³ etwa 80 W je Kubikmeter
Für Räume von 50 bis 100 m³ etwa 80 bis 60 W je Kubikmeter
Für Räume von 100 bis 150 m³ etwa 60 bis 40 W je Kubikmeter

Für starken Windanfall, sehr ausgesetzte Lage, sehr hohe Räume, Anheizzeiten von weniger als ein bis zwei Stunden, wird es nötig sein, je nach den Verhältnissen noch Zuschläge von 10 bis 30% zu den vorgenannten Werten zu berücksichtigen.

Wahl der Öfen.

Für die Übergangsheizung und Zusatzheizung zu anderen Heizungen werden die bekannten Strahlöfen, Leuchtöfen und Ventilatoröfen verwendet, die auch bei elektrischer Vollraumheizung als Zusatzheizung für die fest eingebauten Öfen dienen können (Bild 47).

Für die Vollraumheizung können als fest einzubauende Heizgeräte verschiedene Ausführungen, z. B. Universalöfen (Bild 48), Radiatoren (Bild 49) usw., vorgesehen werden. Es empfiehlt sich, den Gesamtanschlußwert der Heizung für einen Raum in mehrere Öfen zu unterteilen, also z. B. bei einem Gesamtanschlußwert von 9 kW einen Ofen mit 6 kW und einen anderen mit 3 kW Leistung einzubauen. Die Geräte sollen nach Möglichkeit dort angebracht werden, wo der stärkste Wärmebedarf ist, also unter den Fenstern, in der Nähe der Türen usw., um Zugerscheinungen zu vermeiden.

Leitungen, Schalter und Temperaturregelung.

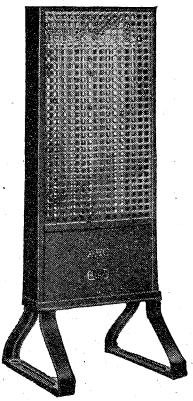


Bild 48. Universalofen.

Die Schalter für die Zu- und Abschaltung der Heizstromkreise sollen nach Möglichkeit in die fest zu verlegende Zuleitung eingebaut werden, und zwar empfiehlt es sich, die Schalter für einen oder mehrere Räume an einer Stelle zusammenzufassen und gemeinsam mit den Sicherungen auf einer Tafel unterzubringen. Die Wahl des Leitungsmaterials richtet sich nach den Raumverhältnissen und den Betriebsbedingungen. Es ist zu empfehlen, neben der Grundstufe von fest eingebauten Öfen, die etwa zwei Drittel bis drei Viertel des erforder-

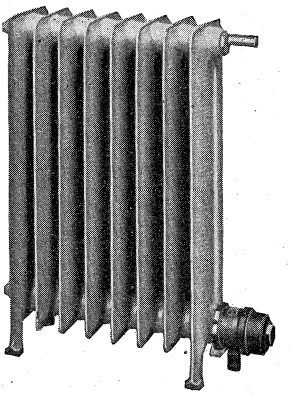


Bild 49.
Elektrisch beheizter Radiator.

lichen Gesamtanschlußwertes ausmachen soll, für den restlichen Teil des Anschlußwertes getrennt angeordnete Steckdosen vorzusehen, durch die bewegliche Öfen angeschlossen werden können. Hierdurch wird eine gute Anpassungsmöglichkeit an die jeweiligen Witterungsverhältnisse erreicht, und man ist in der Lage, auch die Vorteile der Strahlöfen, Leuchtöfen (Bild 47) und Ventilatoröfen in bezug auf rasche Erwärmung einzelner Raumteile (Wärmestrahlung) auszunutzen.

Sonderausführungen.

Für die Beheizung von Garagen, Tankstellen, explosionsgefährdeten Räumen kommen wassergefüllte Radiatoren (Bild 49) in Frage.

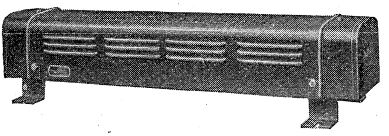


Bild 50. Liegender Heizkörper (Bahnheizkörper).

Für rauhe Betriebe und Räume, in denen nur wenig Platz für die Unterbringung der Heizkörper zur Verfügung steht, sowie für die Beheizung von Straßen- und Eisenbahnwagen, als auch Kranführerständen sind liegende Heizkörper (Bild 50) besonders geeignet.

Für die Beheizung von Kirchen, insbesondere Sitzplatz- und Fußschemelbeheizung, ferner aber auch für andere Raumheizungen, in denen auf geringe Heizkörper-Oberflächentemperatur Wert gelegt wird und eine gleichmäßige Wärmeverteilung erreicht werden soll, eignen sich am besten Rohrheizkörper, die üblicherweise eine Nennaufnahme von etwa 250 W je laufenden Meter haben.

Unter Fenstern, neben Türen oder an sonstigen Stellen, an denen Zugerscheinungen auftreten, empfiehlt sich die Verwendung von flach gebauten Heizgeräten, die durch ihre Bauart besonders anpassungsfähig sind.

Für Großraumheizungen, bei denen nur gelegentliche Beheizung, dafür aber kurze Anheizzeit verlangt wird, lassen sich Lufterhitzer für den Anschluß an einen Lüfter bzw. für den Anbau an die Luftzuleitung verwenden.

Entlüftung.

In Räumen, in denen wegen der Entwicklung von Gerüchen (Küchen, Werkstätten) oder großen Menschenansammlungen (Schulen, Gaststätten) der natürliche Luftwechsel für die Erneuerung nicht ausreicht, ist es zweckmäßig, für Entlüftung durch elektrische Lüfter zu sorgen. Für einfache Fälle, bei denen infolge der freien Luftzuströmung aus dem zu entlüftenden Raum ein wesentlicher Gegendruck gegen die Freiluft nicht auftritt, werden Wandring- oder Fensterlüfter (Bild 51) verwendet, deren Zahl und Größe durch den erforderlichen Luftwechsel, d. h. Erneuerung der gesamten Raumluft, bestimmt wird. Hierzu seien folgende Erfahrungszahlen angegeben.

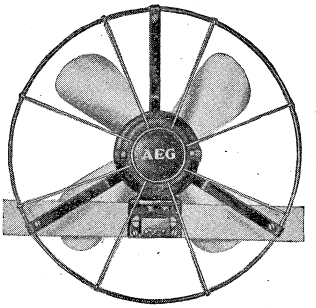


Bild 51. Fensterlüfter.

Man rechnet je Stunde für:

Theater bei aussetzender Entlüftung mit	10—15fachem Luftwechsel,
Theater bei dauernder Entlüftung mit	3— 6fachem Luftwechsel,
Büros mit	5—10fachem Luftwechsel,
Schulen mit	5—10fachem Luftwechsel,
Werkstätten mit	6 und mehrfachem Luftwechsel,
Aborte mit	6fachem Luftwechsel,
Gaststätten mit	8—10fachem Luftwechsel,
Küchen mit	10 und mehrfachem Luftwechsel.

Kann die Entlüftung nicht unmittelbar ins Freie erfolgen, sondern muß die Abluft durch Luftschächte abgeführt werden oder Frischluft durch Kanäle oder Röhren zugeführt werden, so entstehen Druckverluste, die durch den Lüfter überwunden werden müssen. Die Planung derartiger Lüftungsanlagen ist der Erfahrung von Fachleuten zu überlassen, wenn man Mißerfolge vermeiden will.

Die elektrische Großküche.

Neben der elektrischen Hauhaltsküche hat die elektrische Großküche eine steigende Bedeutung erlangt, wozu einmal die allgemeinen Vorzüge der elektrischen Küche überhaupt, nämlich Reinlichkeit, Vermeidung von Verbrennungsgasen, Asche usw. sowie Verringerung der abgestrahlten Wärme beigetragen haben. Es kommt ein technisch wichtiger Gesichtspunkt hinzu. Durch die bequeme Unterteilbarkeit der elektrischen Beheizung, die es gestattet, daß die Heizkörper bequem immer gerade dort anzubringen sind, wo die Wärme benötigt wird, ist es möglich, von einer Zusammenballung der Kochvorgänge an einer Stelle Abstand zu nehmen und einzelne zweckmäßig aufstellbare Geräte zu verwenden. Was für die elektrische Küche ganz allgemein gilt, trifft auch hier zu, nämlich eine Verbesserung der Speisenherstellung durch Verwendung der niedrigen Arbeitstemperaturen sowie die Fettersparnis, dadurch, daß die hier verwendeten niedrigen Temperaturen die Fettverdampfung begrenzen.

Die elektrische Großküche kommt in Frage für Gaststätten, Kasinos und Werkspeisebetriebe, Krankenhäuser, Erholungsanstalten, Kinderheime, Lager, Kasernen und so weiter. Je nach Wahl des Betriebes wird die Auswahl der Geräte getroffen, wobei die Beobachtung zu machen ist, daß je einheitlicher die Kost ist, um so mehr die Bedeutung des Herdes zurücktritt, und für die Speisebereitung Sondergeräte herangezogen werden, so daß unter Umständen der Herd praktisch ganz entfallen kann. Unter den üblichen Geräten sind folgende zu nennen:

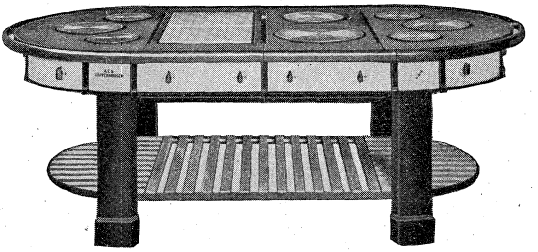


Bild 52. Großküchen-Tischherd „Gastronom".

Der **Herd**, der als Blockherd ausgeführt werden kann, d. h. der neben den auf seiner Fläche angeordneten Kochplatten untergebaute Bratöfen besitzt, die bei der Ausführung als Tischherd fortfallen (Bild 52). Es werden Kochplatten von verschiedener Größe verwendet, von 180.400 mm Durchmesser. Daneben kann der Herd auch an Stelle der runden Kochplatten mit quadratischen Platten bestückt werden.

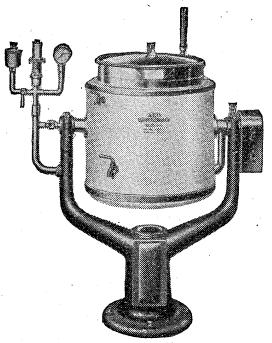


Bild 53. Elektro-Kippkochkessel.

Elektrohocker für Kochgutmengen in größeren Gefäßen, die sich auf dem Herd wegen seiner Höhe nicht mehr gut handhaben lassen, aber für eine Zubereitung in Kesseln noch nicht groß genug sind.

Kochkessel für große Kochgutmengen, für die weder Herde noch Hocker der Leistung nach ausreichen. Es werden aber auch vielfach für kleinere Mengen Kochkessel benutzt, die häufig in einem Kippgestell, der bequemen Handhabung wegen, aufgehängt werden (Bild 53). Die Elektrokochkessel

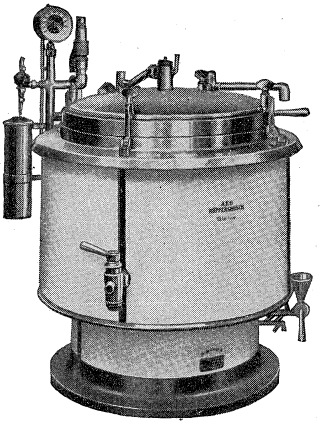


Bild 54. Elektroden-Kochkessel.

kommen vorzugsweise für solche Großküchen in Frage, wo eine große Anzahl von Personen zu bestimmten Tageszeiten mit einheitlichem Essen verpflegt werden muß und bei denen deshalb der Herd an Bedeutung zurücktritt. Die Kessel werden mit mittelbarer oder unmittelbarer Beheizung geliefert. Die mittelbar beheizten Kessel, bei denen das eigentliche Kochgefäß von einem Wasser- oder Glyzerinbad umgeben ist, sind namentlich für empfindliche Speisen zu verwenden. Hier ist besonders der AEG-Küppersbusch-Elektrodenkochkessel zu erwähnen, der ein selbsttätiges Arbeiten gestattet (Bild 54). Dieser Kessel erreicht nur während des Ankochens die volle Leistung, danach schaltet er sich selbsttätig auf die Fortkochstufe mit einem sehr geringen Leistungsverbrauch um. Durch diese selbsttätige Arbeitsweise ist dieser Kessel im Stromverbrauch sehr sparsam.

Elektrisch beheizte **Warmwasserbäder** dienen zum Warmhalten fertiger Speisen sowohl auf dem Herd als auch an der Speisenausgabe.

Wärmeschränke dienen dazu, die Geschirre anzuwärmen.

Brat- und Backöfen. Die Verwendung des Tischherdes bedingt die Aufstellung von gesonderten Brat- und Backöfen, die einzeln oder zu Gruppen vereint verwendet werden, wobei die Backöfen übereinander und dann bei größerer Zahl zu mehreren nebeneinander aufgestellt werden können.

Bratpfanne. Für größere Mengen von Pfannengerichten kann durch dieses Gerät eine Entlastung des Herdes stattfinden. Dasselbe wird in der Regel kippbar ausgeführt, und zwar sowohl in runder als auch in viereckiger Form (Bild 55).

Kaffeebereitungsanlagen zum Aufbrühen von Kaffee in großen Mengen.

Fischbratpfannen, Grill- und Glührosten sind neben den aufgeführten Geräten je nach Art des Betriebes zu verwenden.

Der Energieverbrauch einer Großküche ist davon abhängig, ob es sich um Betriebe mit Einheitskost oder mit gemischter Kost handelt. Man kann für ein einfaches Essen in der Speiseanstalt eines Industriebetriebes mit 0,3 bis 0,5 kWh je Gedeck rechnen. In einer Gasthausküche mittlerer Größe wird ein Stromverbrauch von 0,4 bis 0,7 kWh je Gedeck anzunehmen sein. Letzterer Wert erhöht sich bei Gasthausküchen mit reichhaltiger Speisekarte. In Krankenhäusern, bei denen entsprechend den verschiedenen Klassen mehrere Tagesgerichte verausgabt werden und wo dazu noch eine umfangreiche Diätküche betrieben wird, liegt der Verbrauch zwischen 0,4 bis 0,5 kWh je Essen.

Für die bauliche Planung ist die oben erwähnte Möglichkeit, die Leistung der Küche auf mehrere Geräte zu verteilen, von größtem Vorteil, da der Bauausführende in der Lage ist, die einzelnen Geräte so aufzustellen, wie es der Arbeitsaufteilung von den Lagerräumen zur Küche in dieser selbst und weiter zur Ausgabe am besten entspricht. Auch der Fortfall von Schornsteinen und vielen Entlüftungen sowie der Asche gewährt eine Erleichterung für die Einordnung der Küche in den Gesamtbau und für die Küche selbst.

Nachstehende Tafeln geben noch einen Anhalt für die Größenbestimmung von Kochkesseln, Bratpfannen und Kippbratpfannen.



Bild 55. Runde Kippbratpfanne.

Größenbestimmung von Kochkesseln.

Ungefähres Fassungssoll der Geräte je Mahlzeit und Person:

Betriebsart	Suppe Liter (Fassungsvermögen der Kessel)	Fleisch Portionsgerichte roh Gramm	Gemüse Liter (Fassungsvermögen der Kessel)	Kartoffeln Liter (Fassungsvermögen der Kessel)	Eintopfgerichte Liter (Fassungsvermögen der Kessel)	Kaffee oder Milch zum Frühstück Liter (Fassungsvermögen der Kessel)
Restaurationen, Hotels	0,3...0,4	125...170	0,4...0,5	0,5...0,5	1,0	nach Wahl
Kasinos, Speiseanstalten	0,4...0,5	125...170	0,5...0,6	0,5...0,6	1,0...1,2	0,2
Krankenhäuser, Anstalten	0,4...0,5	170	0,5...0,6	0,5...0,6		0,5
Kasernen, Arbeitsdienstläger	zus. 0,65...0,8	170	zus. 1,20 Liter		1,2	1 Liter Kaffee
Kinderheim	Milch- oder Reisspeisen, Pudding usw. 0,8 Liter je Kind					

Größenbestimmung von Bratöfen:

Muffelgrößen in cm			Fassungsvermögen je Muffel in kg Fleisch
Breite	Tiefe	Höhe	
40	60	28	15
50	70	28	25
50	85	28	30
60	85	28	36

Größenbestimmung von Kippbratpfannen:

50 cm Durchmesser	stündlich bis zu 120 Portionen
60 cm Durchmesser	stündlich bis zu 180 Portionen
70 cm Durchmesser	stündlich bis zu 300 Portionen
80 cm Durchmesser	stündlich bis zu 400 Portionen

1 kg = 6 bis 8 Portionen zu 165 oder 125 g Rohgewicht je Portion.

Schaltgeräte und Leitungen.

Zu unterscheiden ist zwischen Geräten mit eingebauten Schaltern, wie Herde, Bratöfen, Elektrohocker usw., und Geräten ohne Schalter, wie z. B. Kochkessel. Für die erstgenannten genügt es oft, in der Schalt- oder Verteilungsanlage lediglich Hauptsicherungen vorzusehen. Kochkessel hingegen verlangen zusätzliche Schalter. Zweckmäßigerweise verwendet man für solche Geräte Paketschalter (60...100 A), die auch neben dem Kochkessel in eine besondere Schaltsäule eingebaut werden, wo sie für die Bedienung leicht zugänglich und jeder Hitzeeinwirkung durch das Kochgerät entzogen sind. Bei vollselbsttätigem Betrieb von Elektrokesseln sind Fernschalter (Schütze) erforderlich. Die Fernschalter werden durch

Steuerschalter bedient, die wiederum neben den Kesseln in eine Schaltsäule eingebaut werden können. In vielen Fällen, vor allem in großen Küchen, wird es erwünscht sein, daß für alle Küchengeräte Hauptschalter (Fernschalter) vorhanden sind und daß die Stellung dieser Schalter durch Anzeigelampen, die in der Küche auf einer Tafel zusammen mit den Betätigungsschaltern vereinigt werden, kenntlich gemacht wird. Diese Ausführung hat den Vorzug, daß der Leiter der Küche durch einen Blick auf die Anzeigetafel jederzeit prüfen kann, ob unbenutzte Herde, Hocker u. a. noch eingeschaltet sind.

Die Leitungen von den Kochgeräten zu den Schaltern und von diesen zu der Steuertafel in der Küche werden als Feuchtraumleitungen in nicht ausgekleidetem Stahlrohr und, wenn möglich, durch den Küchenfußboden und längs der Decke der unter der Küche liegenden Kellerräume oder dergleichen geführt. Gestatten die baulichen Verhältnisse diese Ausführung nicht, so werden die Stahlrohre zur Aufnahme der Feuchtraumleitung in den Betonfußboden der Küche eingestampft. Die Stahlrohre werden an den Herden, Kesseln usw. hochgeführt und gegebenenfalls vergossen, um jedes Eindringen von Wasser unmöglich zu machen. Die Herd- und Geräteanschlüsse liegen etwa 60...80 cm über Flur, worauf bei Bestimmung der Leitungslängen Rücksicht zu nehmen ist. Eine Leitungsverlegung in Kanälen im Fußboden ist zu verwerfen, da diese Kanäle bei der Reinigung der Küche leicht überflutet werden können.

Die Verteilungsanlage wird mit Rücksicht auf die entstehenden Dampfschwaden möglichst nicht im Küchenraum aufgestellt. Erfahrungsgemäß ist hierbei für Auslegung der Hauptzuleitung und der Hauptverteilungsschienen mit 60...70% des gesamten Anschlußwertes der Geräte zu rechnen.

Für kleinere Küchen können Faltverteilungen (siehe Seite 260) vorgesehen werden, die auch in der Küche in die Wand eingelassen und durch Glasschiebetüren abgedeckt werden können.

Für größere Küchen werden gußgekapselte Verteilungen mit Fernschaltern verwendet, die in einem Nebenraum oder im Kellerraum untergebracht werden.

Im Küchenbetrieb muß das Bedienungspersonal einwandfrei vor Berührungsspannung geschützt werden. Der Frage des Berührungsschutzes ist daher besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Als Schutzmaßnahmen kommen für Küchen Erdung, Nullung oder Schutzschaltung in Frage (siehe Seite 417).

Bei dem vorstehend erwähnten Paketschalter sind die Schaltorgane in besonderen Kammern aus Isolierstoff untergebracht (Bild 56), die einen paketartigen Zusammenbau der einzelnen Schaltelemente und damit die mannigfaltigsten Schaltungen ermöglichen.

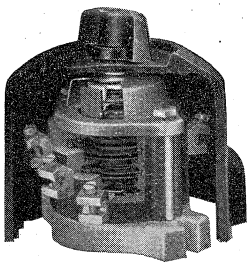


Bild 56. Schnitt durch einen Paketschalter mit Schutzkappe.

Die Einkapselung der Kontakte in Einzelschaltkammern bewirkt eine zuverlässige Lichtbogenlöschung und eine lange Lebensdauer des Schalters. Die verwendeten Werkstoffe gestatten eine Benutzung bis zu höchsten Dauertemperaturen von 60° C.

Der kontrollerähnliche Aufbau der Schaltkammern ergibt kleinste Abmessungen, so daß der Paketschalter besonders für den Einsatz in Geräte, Verteilungstafeln usw. geeignet ist. Der Schalter ist auch bei Abdeckung durch eine Frontplatte für den Einbau in Schalttafeln oder unter Verwendung einer Kappe als Aufbauschalter, schließlich mit einer wasserdichten Leichtmetallkapselung ausführbar. Der Schalter wird mit Schnell- oder Langsamschaltwerk (letztgenanntes nur für Wechselstrom), sowie in zahlreichen Sonderausführungen geliefert.

ANHANG

I. Tafeln für das Verhältnis von Stromstärke zur Leistung

Leistung in kW abhängig von der Stromstärke in A.

Für Gleichstrom ist: $kW = \frac{V \times A}{1000}$

Für Drehstrom ist: $kW = \frac{1{,}73 \times V \times A \times \cos\varphi}{1000}$

Stromstärke A	Gleichstrom			Drehstrom							
				125 V		220 V		380 V		500 V	
	110 V	220 V	440 V	cos φ =		cos φ =		cos φ =		cos φ =	
				1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8
1	0,11	0,22	0,44	0,216	0,173	0,381	0,304	0,657	0,526	0,865	0,692
10	1,10	2,20	4,40	2,16	1,73	3,81	3,04	6,57	5,26	8,65	6,92
11	1,21	2,42	4,84	2,38	1,90	4,19	3,35	7,23	5,78	9,51	7,61
12	1,32	2,64	5,28	2,59	2,08	4,57	3,65	7,89	6,31	10,4	8,30
13	1,43	2,86	5,72	2,81	2,25	4,95	3,96	8,55	6,84	11,2	9,00
14	1,54	3,08	6,16	3,03	2,42	5,33	4,26	9,20	7,36	12,1	9,69
15	1,65	3,30	6,60	3,24	2,59	5,71	4,57	9,86	7,89	13,0	10,4
16	1,76	3,52	7,04	3,46	2,77	6,09	4,87	10,5	8,41	13,8	11,1
17	1,87	3,74	7,48	3,68	2,94	6,47	5,18	11,2	8,94	14,7	11,8
18	1,98	3,96	7,92	3,89	3,11	6,85	5,48	11,8	9,47	15,6	12,5
19	2,09	4,18	8,36	4,11	3,29	7,23	5,78	12,5	9,99	16,4	13,1
20	2,20	4,40	8,80	4,32	3,46	7,61	6,09	13,1	10,5	17,3	13,8
22	2,42	4,84	9,68	4,76	3,81	8,37	6,70	14,5	11,6	19,0	15,2
24	2,64	5,28	10,6	5,19	4,15	9,13	7,31	15,8	12,6	20,8	16,6
26	2,86	5,72	11,4	5,62	4,50	9,90	7,92	17,1	13,7	22,5	18,0
28	3,08	6,16	12,3	6,06	4,84	10,7	8,52	18,4	14,7	24,2	19,4
30	3,30	6,60	13,2	6,49	5,19	11,4	9,13	19,7	15,8	25,9	20,8
32	3,52	7,04	14,1	6,92	5,54	12,2	9,74	21,0	16,8	27,7	22,1
34	3,74	7,48	15,0	7,35	5,88	12,9	10,3	22,3	17,9	29,4	23,5
36	3,96	7,92	15,8	7,78	6,23	13,7	11,0	23,7	18,9	31,1	24,9
38	4,18	8,36	16,7	8,22	6,57	14,5	11,6	25,0	20,0	32,9	26,3
40	4,40	8,80	17,6	8,65	6,92	15,2	12,2	26,3	21,0	34,6	27,7
45	4,95	9,90	19,8	9,73	7,78	17,1	13,7	29,6	23,7	38,9	31,1
50	5,50	11,0	22,0	10,8	8,65	19,0	15,2	32,9	26,3	43,2	34,6
55	6,05	12,1	24,2	11,9	9,51	20,9	16,7	36,2	28,9	47,6	38,1
60	6,60	13,2	26,4	13,0	10,4	22,8	18,3	39,4	31,6	51,9	41,5
65	7,15	14,3	28,6	14,1	11,2	24,7	19,8	42,7	34,2	56,2	45,0
70	7,70	15,4	30,8	15,1	12,1	26,6	21,3	46,0	36,8	60,5	48,4
75	8,25	16,5	33,0	16,2	13,0	28,5	22,8	49,3	39,4	64,9	51,9
80	8,80	17,6	35,2	17,3	13,8	30,4	24,4	52,6	42,1	69,2	55,4
85	9,35	18,7	37,4	18,4	14,7	32,3	25,9	55,9	44,7	73,5	58,8
90	9,90	19,8	39,6	19,5	15,6	34,2	27,4	59,2	47,3	77,8	62,3
95	10,4	20,9	41,8	20,5	16,4	36,2	28,9	62,4	50,0	82,2	65,7
100	11,0	22,0	44,0	21,6	17,3	38,1	30,4	65,7	52,6	86,5	69,2
1000	110	220	440	216	173	381	304	657	526	865	692

Wenn Stromstärken unter 10 A oder über 100 A vorkommen, so ist zunächst der zehnmal größere bzw. zehnmal kleinere Wert aufzusuchen und das Ergebnis durch 10 zu teilen bzw. mit 10 zu multiplizieren.

Stromstärke in A abhängig von der Leistung in kW.

Für Gleichstrom ist: $A = \frac{1000 \times kW}{V}$

Für Drehstrom ist: $A = \frac{1000 \times kW}{1{,}73 \times V \times \cos\varphi}$

Leistung kW	Gleichstrom			Drehstrom							
				125 V		220 V		380 V		500 V	
	110 V	220 V	440 V	cos φ =		cos φ =		cos φ =		cos φ =	
				1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8
0,1	0,909	0,455	0,227	0,462	0,578	0,263	0,328	0,152	0,190	0,116	0,144
1,0	9,09	4,55	2,27	4,62	5,78	2,63	3,28	1,52	1,90	1,16	1,44
1,1	10,0	5,00	2,50	5,09	6,36	2,89	3,61	1,67	2,09	1,27	1,59
1,2	10,9	5,45	2,73	5,55	6,94	3,15	3,94	1,82	2,28	1,39	1,73
1,3	11,8	5,91	2,95	6,01	7,51	3,41	4,27	1,98	2,47	1,50	1,88
1,4	12,7	6,36	3,18	6,47	8,09	3,68	4,60	2,13	2,66	1,62	2,02
1,5	13,6	6,82	3,41	6,94	8,67	3,94	4,93	2,28	2,85	1,73	2,17
1,6	14,5	7,27	3,64	7,40	9,25	4,20	5,25	2,43	3,04	1,85	2,31
1,7	15,5	7,73	3,86	7,86	9,83	4,47	5,58	2,59	3,23	1,96	2,45
1,8	16,4	8,18	4,09	8,32	10,4	4,73	5,91	2,74	3,42	2,08	2,60
1,9	17,3	8,63	4,32	8,79	11,0	4,99	6,24	2,89	3,61	2,20	2,74
2,0	18,2	9,09	4,55	9,25	11,6	5,25	6,57	3,04	3,80	2,31	2,89
2,2	20,0	10,0	5,00	10,2	12,7	5,78	7,22	3,35	4,18	2,54	3,18
2,4	21,8	10,9	5,45	11,1	13,9	6,30	7,88	3,65	4,56	2,77	3,47
2,6	23,6	11,8	5,91	12,0	15,0	6,83	8,54	3,95	4,94	3,01	3,75
2,8	25,5	12,7	6,36	12,9	16,2	7,36	9,19	4,26	5,32	3,24	4,04
3,0	27,3	13,6	6,82	13,9	17,3	7,88	9,85	4,56	5,70	3,47	4,33
3,2	29,1	14,5	7,27	14,8	18,5	8,41	10,5	4,87	6,08	3,70	4,62
3,4	30,9	15,5	7,73	15,7	19,6	8,93	11,2	5,17	6,46	3,93	4,91
3,6	32,7	16,4	8,18	16,6	20,8	9,46	11,8	5,48	6,84	4,16	5,20
3,8	34,5	17,3	8,63	17,6	22,0	9,98	12,5	5,78	7,22	4,39	5,49
4,0	36,4	18,2	9,09	18,5	23,1	10,5	13,1	6,08	7,60	4,62	5,78
4,5	40,9	20,5	10,2	20,8	26,0	11,8	14,8	6,84	8,55	5,20	6,50
5,0	45,4	22,7	11,4	23,1	28,9	13,1	16,4	7,60	9,50	5,78	7,22
5,5	50,0	25,0	12,5	25,4	31,8	14,4	18,1	8,37	10,4	6,36	7,94
6,0	54,5	27,3	13,6	27,7	34,7	15,8	19,7	9,13	11,4	6,94	8,66
6,5	59,1	29,5	14,8	30,0	37,6	17,1	21,3	9,89	12,3	7,51	9,39
7,0	63,6	31,8	15,9	32,4	40,5	18,4	23,0	10,6	13,3	8,09	10,1
7,5	68,2	34,1	17,0	34,7	43,3	19,7	24,6	11,4	14,2	8,67	10,8
8,0	72,7	36,4	18,2	37,0	46,2	21,0	26,3	12,2	15,2	9,25	11,5
8,5	77,3	38,6	19,3	39,3	49,1	22,3	27,9	12,9	16,1	9,83	12,3
9,0	81,8	40,9	20,5	41,6	52,0	23,6	29,6	13,7	17,1	10,4	13,0
9,5	86,4	43,2	21,6	43,9	54,9	25,0	31,2	14,4	18,0	11,0	13,7
10	90,9	45,5	22,7	46,2	57,8	26,3	32,8	15,2	19,0	11,6	14,4
100	909	455	227	462	578	263	328	152	190	116	144

Wenn Leistungen unter 1 kW oder über 10 kW vorkommen, so ist zunächst der zehnmal größere bzw. zehnmal kleinere Wert aufzusuchen und das Ergebnis durch 10 zu teilen bzw. mit 10 zu multiplizieren.

Stromstärken in A der Leistungen bis 1000 kVA bei den gebräuchlichen Drehstrom-Spannungen.

Für Drehstrom ist: $A = \frac{1000 \times kVA}{1{,}73 \times V}$

kVA	Stromstärke in A bei V											
	125	190	220	380	500	1000	1500	3000	5000	6000	10000	15000
1	4,6	3	2,6	1,5	1,2	0,58	0,4	0,19	0,12	0,1	0,06	0,04
2	9,2	6,1	5,3	3	2,3	1,16	0,8	0,39	0,23	0,19	0,12	0,08
3	13,9	9,1	7,9	4,6	3,5	1,74	1,2	0,58	0,35	0,29	0,17	0,12
5	23,1	15,2	13,1	7,6	5,8	2,89	1,9	0,96	0,58	0,48	0,29	0,19
7,5	34,7	22,8	19,7	11,4	8,7	4,33	2,9	1,45	0,87	0,72	0,43	0,29
10	46,2	30,4	26,3	15,2	11,6	5,8	3,9	1,9	1,16	0,96	0,58	0,39
15	69,4	45,6	39,4	22,8	17,3	8,7	5,8	2,89	1,73	1,45	0,87	0,58
20	92,5	60,9	52,5	30,4	23,1	11,6	7,7	3,85	2,31	1,93	1,16	0,77
25	115,6	76,1	65,7	38	28,9	14,5	9,6	4,82	2,89	2,41	1,45	0,96
30	138,7	91,3	78,8	45,6	34,7	17,4	11,6	5,78	3,47	2,89	1,74	1,16
40	185,0	121,7	105,1	60,8	46,2	23,1	15,4	7,71	4,62	3,86	2,31	1,54
50	231,2	152,1	131,4	76	57,8	28,9	19,3	9,6	5,78	4,8	2,89	1,93
60	277,5	182,5	157,6	91,3	69,4	34,7	23,1	11,6	6,94	5,78	3,47	2,31
70	323,7	213	183,9	106,5	80,9	40,5	27	13,5	8,09	6,74	4,05	2,7
85	393,1	258,6	223,3	129,3	98,3	49,1	32,7	16,4	9,83	8,19	4,91	3,27
100	462,5	304,2	262,7	152,1	115,6	57,7	38,6	19,2	11,6	9,6	5,8	3,86
125	578,1	380,3	328,4	190,1	144,5	72,3	48,2	24,1	14,5	12	7,23	4,82
150	693,7	456,3	394,1	228	173,4	86,7	58	28,9	17,3	14,5	8,67	5,8
175	809,4	532,4	459,8	266,2	202,3	101,2	67,4	33,7	20,2	16,9	10,1	6,74
200	925,0	608,5	525,4	304,2	231,2	115,6	77	38,5	23,1	19,3	11,6	7,7
250	1156	760,6	656,8	380	289	144,5	96,4	48,2	28,9	24,1	14,5	9,64
300	1387	912,7	788	456,3	346,8	173,5	116	57,8	34,7	28,9	17,4	11,6
350	1619	1065	919,6	532,4	404,6	202,3	134,8	67,4	40,5	33,7	20,2	13,5
400	1850	1217	1051	608,5	462,4	231,2	154	77,1	46,2	38,6	23,1	15,4
450	2081	1369	1182	684,5	520,2	260,1	173,4	86,7	52	43,4	26	17,3
500	2312	1521	1314	760	578	289	193	96,5	57,8	48,2	28,9	19,3
600	2775	1825	1576	912,6	693,6	346,8	231	115,6	69,4	57,8	34,7	23,1
700	3237	2130	1839	1065	809,3	404,7	270	134,9	80,9	67,4	40,5	27
800	3700	2434	2102	1217	924,9	462,4	308,3	154,1	92,5	77	46,2	30,8
900	4162	2738	2365	1369	1041	520,3	346,8	173,4	104	86,7	52	34,7
1000	4625	3042	2627	1521	1156	577	386	193	115,6	96	57,7	38,6

II. Schaltzeichen und Leitungspläne für Starkstromanlagen.

Auszug aus den Normblättern Din VDE 710—717.

Die Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses der deutschen Industrie. Verbindlich für die nachstehenden Angaben bleiben obengenannte Normblätter.

Schaltzeichen sind die zeichnerische Darstellung von Maschinen, Geräten und Leitungen in Schalt- und Leitungsplänen. Man unterscheidet:

a) Das Schaltkurzzeichen ist die Kurzdarstellung ohne Innenschaltung.

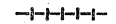
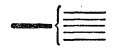
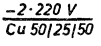
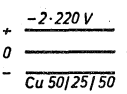
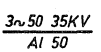
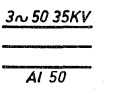
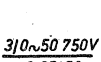
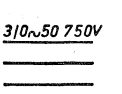
b) Das Schaltzeichen ist die Darstellung mit vereinfachter Innenschaltung.

Die Schaltzeichen geben nur Aufschluß über Art, Schaltung und Arbeitsweise der Geräte, aber nicht über ihre Konstruktion. Sie können in beliebiger Lage gezeichnet werden.

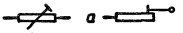
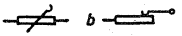
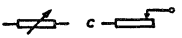
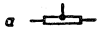
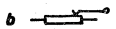
Stromarten und Schaltarten.

VDE-Nr.	Schaltzeichen	Benennung	VDE-Nr.	Schaltzeichen	Benennung
1		Gleichstrom	13		Zweiphasen - Dreiphasen - Schaltung verkettet (Scottsche Schaltung)
2		Wechselstrom allgemein. Die beigesetzte Zahl = Frequenz			
3		Gleich- oder Wechselstrom	14		Dreiphasen-Schaltung unverkettet
5		Einphasen-Wechselstrom von $16^2/_3$ Per/s	15		Dreiphasen-Schaltung verkettet in Dreieck-Schaltung
6		Zweiphasen-Wechselstrom von 40 Per/s; gleiche Belastung	17		Dreiphasen-Schaltung verkettet in Sternschaltung
7		Dreiphasen-Wechselstrom (Drehstrom) v. 50 Per/s; gleiche Belastung			
8		Dreiphasen-Wechselstrom (Drehstrom) v. 50 Per/s mit Nulleiter; gleiche Belastung	18		Dreiphasen-Schaltung in Sternschaltung mit herausgeführtem Sternpunkt
9		Einphasen-Schaltung	19		Dreiphasen-Schaltung verkettet in Zickzack-Schaltung (gibt keinen Aufschluß über die tatsächliche Lage der Einzelvektoren)
10		Einphasen-Schaltung mit Hilfsphase	20		Sechsphasen-Schaltung verkettet in Doppeldreieck-Schaltung
11		Zweiphasen-Schaltung unverkettet	21		Sechsphasen-Schaltung verkettet in Sechseck-Schaltung
12	a 	Zweiphasen-Schaltung verkettet a) allgemein	22		Sechsphasen-Schaltung verkettet in Doppelsternschaltung und in Sternschaltung
	b 	b) V-Schaltung			
	c 	c) X-Schaltung	23		n-Phasen-Schaltung unverkettet

Leitungen.

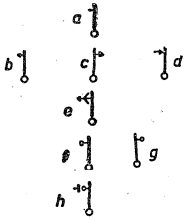
VDE Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Benennung
51			Feste leitende Verbindung, z. B. Lötstelle
52			Lösbare leitende Verbindung, z. B. Anschlußklemme
54			Wandernde leitende Verbindung, z. B. Schleifleitung
55			Leitung allgemein: a) Darstellungsart, anzuwenden für die auf einem Plan jeweils am meisten vorhandene Leitungsart, b) Darstellungsart, anzuwenden für die auf einem Plan seltener vorkommende Leitungsart
56			Biegsame Leitung
57			Leitung mit Kennzeichnung der Anzahl Leiter, z. B. 3 Leiter
58			Leitung mit Kennzeichnung der Anzahl von Kreisen, z. B. 2 Kreise bzw. Doppelleitung
60	a  b 		Leitung mit Kennzeichnung des Verwendungszweckes: a) Schutzleitung für Erdung, Nullung und Schutzschaltung, b) Not- bzw. Notlichtleitung
64	a 		Zusammenfassung von Leitungen oder Mehrfachleitungen a) zur einfachen Darstellung in Schaltplänen
65			Leitung für 2 × 220 V Gleichstrom, bestehend aus 3 Kupferleitern zu 50/25/50 mm²
66			Leitung für Drehstrom, 50 Per/s, 35000 V, bestehend aus 3 Aluminiumleitern zu je 50 mm²
67			Drehstrom-Leitung 750 V mit Nulleiter, bestehend aus 4 Leitern zu 95/95/95/50 mm²
68			Kreuzung von Leitungen ohne Verbindung z. B. mit je 3 Leitern
69			Leitende Verbindung von Stromkreisen z. B. 2 zu je 2 Leitern
120			Erde (Erdungszeichen nach DIN-VDE 11)
122			Überschlag- oder Durchschlagstelle (Hochspannungszeichen nach DIN-VDE 6)

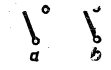
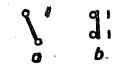
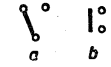
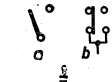
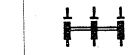
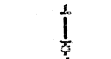
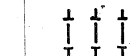
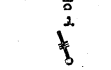
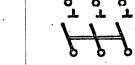
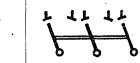
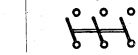
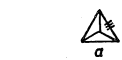
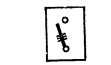
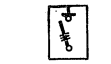
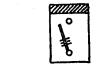
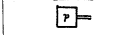
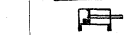
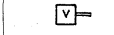
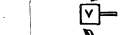
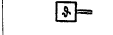
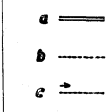
Grundsätzliche Schaltzeichen.

VDE-Nr.	Schaltzeichen	Benennung
101	a  b	Ohmscher Widerstand (Wirkwiderstand) a) ohne wesentliche Induktivität und Kapazität b) ohne Induktivität und Kapazität, insbesondere Meßwiderstand
102	a  b 	a) Induktivität mit ohmschen Widerstand, z. B. Wicklung allgemein, insbesondere Wicklung auf ruhendem Eisenkern b) desgl. wahlweise
103		Induktivität z. B. Luftdrossel für Nieder- und Hochfrequenz
104		Kapazität
105	a b 	a) Eisenkern oder Magnetanker b) Schützanker (Pfeil gibt Rückfallrichtung an)
106		Wicklung mit beweglichem Eisenkern, z.B. Schützmagnet
107		Blasspule
108	a  b  c  d  e 	a) Einstellbarkeit b) stufenweise Regelbarkeit c) stetige Regelbarkeit d) selbsttätige stufenweise Regelbarkeit e) selbsttätige stetige Regelbarkeit
109	Schaltkurzzeichen / Schaltzeichen a  b  c 	Ohmscher Widerstand a) einstellbar b) stufenweise regelbar c) stetig regelbar
110	a  b 	Spannungsteiler a) fest angezapft b) stufenweise regelbar
112		Stromsicherung
113		Spannungssicherung (Durchschlagsicherung)
114		Funkenstrecke
115		Überspannungsableiter
116		Galvanische Zelle oder Batterie allgemein
117		Galvanische Batterie mit Zellenzahl n

VDE-Nr.	Schaltzeichen	Benennung
118		Thermozelle (Thermoelement)
119		Lichtelektrische Zelle (Photozelle)
70		Reihenklemme
71		Reihentrennklemme (nur erforderlich, wenn gemischt mit Reihenklemmen)
74		a) Trennlinie, z. B. zwischen zwei Schaltfeldern b) Umrahmung von zusammengefaßten Geräten

Schaltgeräte.

VDE-Nr.	Glieder für Schaltzeichen	Benennung
		a) Schaltglieder
201		a) Schaltstück mit Klemme b) Schaltstück ohne Klemme
202		Durchgangsschaltstück
205		Schaltstück einer Trennstelle a) fester Teil (z. B. Steckdose) b) beweglicher Teil (z. B. Stecker)
207		a) Stellenbezeichnung in Verbindung mit Nr. 208 b) Stellenbezeichnung in Verbindung mit Nr. 212
208		Bewegliches Schaltstück mit Klemme allgemein
209		Bewegliches Schaltstück mit verlängertem Kontaktweg
210		Bewegliches Schaltstück mit Freiauslösung durch: a) Fremdstrom oder -spannung b) Überstrom c) Unterstrom d) Rückstrom e) Stromwärme f) Überspannung g) Unterspannung h) Fehlerspannung
211		Bewegliches Schaltstück für Regelung a) bei stufenweiser Regelbarkeit b) bei stetiger Regelbarkeit
212		Bewegliches Schaltstück wahlweise für Mehrstellenschalter, z. B. Walzenschalter mit 5 Stellungen, geschlossen in Stellung 1 ... 3.

VDE Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Benennung
			b) Schaltgeräte-Grundarten
213			Schalter allgemein
214			Ausschalter
215			Einschalter
216			Umschalter
221			Trennbare Kupplung
222			Trennlasche
223			Trennsicherung
224			Trennschalter
225			Trennumschalter
226			Lastschalter, insbesondere Hebelschalter, Stufenschalter und Hilfsschalter
	Schaltkurzzeichen		
227			Sterndreieckschalter mit Offenstellung a) ohne Netzschalter (dreipolig) b) mit Netzschalter (sechspolig)
228			Leistungsschalter allgemein, insbesondere Höchstleistungsschalter
229			Leistungsschalter mit sichtbarer Trennstelle (Leistungstrennschalter)
230			Ölleistungsschalter
232			Ölloser Leistungsschalter
			c) Antriebsglieder
241			Antrieb durch Druck flüssiger oder gasförmiger Mittel
242			Antrieb durch Bewegung fester, flüssiger oder gasförmiger Mittel, z. B. Fliehkraft, Strömung usw.
243			Antrieb durch Wärme
			d) Mechanische Übertragungsglieder
245			Wirkverbindung von 2 Geräten (nicht leitend) a) miteinander wirkend, z. B. Isolierbrücke (Polkupplung) bei Schaltgeräten b) desgl. bei getrennt dargestellten Geräteteilen c) aufeinander wirkend, z. B. Isoliergestänge bei Auslösern

VDE-Nr.	Schaltkurzzeichen	Schaltzeichen	Benennung
246			Einrichtung zum Rückstellen
247			Einrichtung für selbsttätigen Rückgang
254	a b c d		Einrichtung für wahlweise Betätigung
			e) Schaltgeräte-Beispiele
264			Einpoliger Vierstellenschalter für wahlweise Betätigung
265			Einpoliger Vielstellenschalter, z. B. 13 Stellen (Zellen-, Stufen- oder Wählerschalter)
266			Doppelzellenschalter. E = Entladung, L = Ladung
269			Schütz mit 2 Einschaltern
273			Einschalter mit Blasspule
275			Trennschalter mit angebautem Erdungstrennschalter
278		a b	Dreipoliger Leistungsschalter mit Handantrieb mit Freiauslösung zweipolig durch: a) Primär-Überstromauslöser b) Sekundär-Überstromauslöser
282			Vierpoliger Einschalter mit getrennt dargestellten Polen
286			Sechsstellenschalter (Kontroller) für einen Anlaßwiderstand mit einseitig wirkendem Einschalter zwischen Stellung 2 und 3
287			Dreipoliger Neunstellenschalter betätigt durch Nockenwalze
288			Anlaß- und Regelwiderstand mit Ausschaltstellung
289			Drehstrom-Anlaß- und Regelwiderstand mit aufgelöstem Sternpunkt

Meldegeräte (Hörmelder).

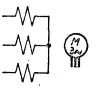
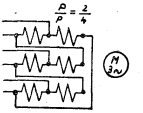
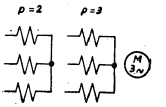
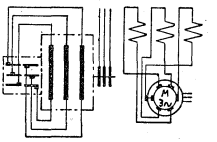
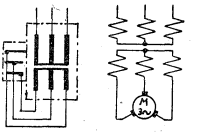
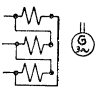
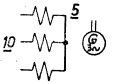
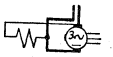
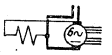
VDE-Nr.	Schaltkurzzeichen	Schaltzeichen	Benennung
316			Summer
317	a b c		a) Wecker allgemein b) Einschlagwecker c) Motorwecker
318			Hupe oder Horn
319			Sirene

Umspanner und Drosselspulen.

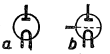
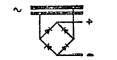
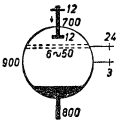
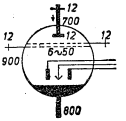
VDE-Nr.	Schaltkurzzeichen einpolig	Schaltkurzzeichen mehrpolig	Schaltzeichen	Benennung
				a) Glieder und Grundarten:
401				Drosselspule oder Umspannerwicklung
405				Stetig regelbare Drosselspule
				b) Beispiele für Drosselspulen und Umspanner:
409				Drehstrom-Drosselspule in Stern-Schaltung, stetig regelbar
411				Einphasen-Umspanner 1000 kVA, $16^2/_3$ Per/s, 6000/400 V
414				Einphasen-Umspanner m. 3 Wicklungen, 13000/13000/5000 kVA, 100/15/6 kV, 7,5 % Kurzschlußspannung zwischen 100/15 kV
416				Drehstrom-Umspanner, Schaltgruppe C 2, 6400 kVA, 50 Per/s, 60/15 kV mit Sternpunktklemme
420				Drehstrom-Umspanner m. 3 Wicklungen, in Schaltung Y/Y/Δ, Schaltgruppe A 2/C 2/C 2, eine mit Anzapfungen (nicht unter Last regelbar), 20/20/10 MVA, 50 Per/s, 110—5 × 2/30/15 kV
423				Einphasen-Spar-Umspanner 2000 kVA, 50 Per/s, 6000/5000 V (Durchgangsleistung)
424				Dreiphasen-Spar-Umspanner in Y-Schaltung, 1000 kVA, 50 Per/s, 6000/5000 V (Durchgangsleistung)

Maschinen.

VDE-Nr.	Schaltkurzzeichen einpolig	Schaltkurzzeichen mehrpolig	Schaltzeichen	Benennung
				a) Glieder und Grundarten:
509	a / b			Kupplung von 2 Maschinen: a) vorzugsweise b) wahlweise entspr. IEC
				b) Beispiele für Gleichstrom-Maschinen:
516	M	M	M	Reihenschluß-Gleichstrom-Motor
517	M	M	M	Reihenschluß-Gleichstrom-Motor, Wendepole einseitig zum Anker geschaltet
518	M	M	M	Reihenschluß-Gleichstrom-Motor, Wendepole auf beide Seiten des Ankers geschaltet
520	G	G	G	Nebenschluß-Gleichstrom-Generator, selbsterregt, Wendepole einseitig zum Anker geschaltet
522	G	G	G	Nebenschluß-Gleichstrom-Generator, fremderregt
524	G	G	G	Doppelschluß-Gleichstrom-Generator, selbsterregt, Wendepole einseitig zum Anker geschaltet
526	G	G	G	Doppelschluß-Gleichstrom-Generator, alle Wicklungsenden herausgeführt
527	G K	G K	G	Doppelschluß-Gleichstrom-Generator, fremderregt, mit Kompensationswicklung u. Wendepole auf beide Seiten des Ankers geschaltet
				c) Beispiele für Asynchronmaschinen:
528	M 1~	M 1~	M 1~	Einphasen-Asynchron-Motor mit Käfigläufer und Hilfsphase
536	M 3~	M 3~	M 3~	Drehstrom-Asynchron-Motor mit Käfigläufer

VDE-Nr.	Schaltkurzzeichen einpolig	Schaltkurzzeichen mehrpolig	Schaltzeichen	Benennung
537				Drehstrom-Asynchron-Motor mit Schleifringläufer (dreiphasig)
539				Drehstrom-Asynchron-Motor mit Polumschaltung (z. B. 2 und 4 Polpaare), Dahlanderschaltung mit Käfigläufer
540				Drehstrom-Asynchron-Motor mit Polumschaltung (z. B. 2 und 3 Polpaare), 2 getrennte Wicklungen im Ständer
				d) Beispiele für Drehstrom-Kollektor-Maschinen
544				Drehstrom-Nebenschluß-Motor, läufergespeist
545				Drehstrom-Nebenschluß-Motor, ständergespeist
				c) Beispiele für Synchron-Maschinen
548				Synchron-Generator, dreiphasig, in Dreieckschaltung
549				Synchron-Generator, dreiphasig, in Sternschaltung, z. B. 10 MVA, 5 kV
				f) Beispiele für Umformer
553				Einanker-Umformer, dreiphasig
554				Einanker-Umformer, sechsphasig

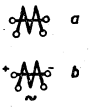
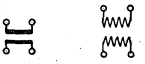
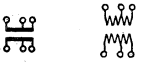
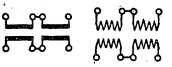
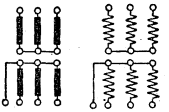
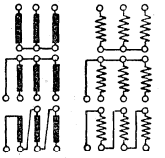
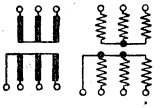
Stromrichter.

VDE-Nr.	Schaltkurzzeichen	Schaltzeichen	Benennung
			a) Grundformen
559			Stromrichter allgemein
560			Trockengleichrichter (Sperrschichtgleichrichter)
561			Glimmgleichrichter
562			Glühkathodengleichrichter mit direkter Heizung; a) ohne Gitter, b) mit Gitter
563			Quecksilberdampfgleichrichter
			b) Beispiele
564			Vollwegtrockengleichrichter in Brückenschaltung
565			Sechsphasen-Quecksilberdampfgleichrichter mit 12 Anoden, mit 2 Erregeranoden, 1 Zündanode und Doppelgitter für 900 kW, 6 ~ 700 V, 50 Per/s, —800 V

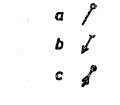
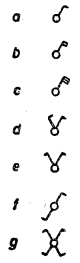
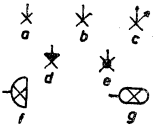
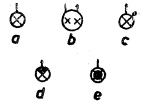
Meßgeräte, Relais und Auslöser (Beispiele).

VDE-Nr.	Schaltkurzzeichen einpolig	Schaltkurzzeichen mehrpolig	Schaltzeichen	Benennung
690				Spannungsmesser
692				Stromschreiber, Reihenschaltung, Uhrwerksantrieb
693				Amperestundenzähler Dieselben Sinnbilder gelten für A² h-Zähler
696				Leistungsmesser für Gleichstrom und Einphasen-Wechselstrom. Dieselben Sinnbilder gelten für Leistungsfaktormesser und Widerstandsmesser
701				Wattstundenzähler für Gleichstrom oder Einphasen-Wechselstrom, Spannungspfade im Innern an die Strompfade angeschlossen
705				Wattstundenzähler für Dreileiter-Drehstrom beliebiger Belastung, Meßwerke in getrennten Netzen
710				Unterspannungsrelais mit Ausschalter
711				Überstromauslöser

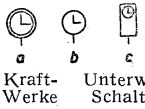
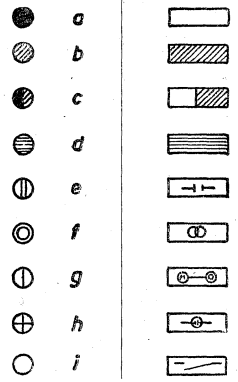
Meßwandler.

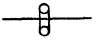
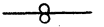
VDE-Nr.	Schaltkurzzeichen	Schaltzeichen	Benennung
715			Stromwandler für: a) Wechselstrom mit 1 Kern b) Gleichstrom mit Wechselstromerregung
716			Stromwandler mit umschaltbarer Primärwicklung
717			Stromwandler mit 2 Kernen
718			Einphasen-Spannungswandler
719			Einphasen-Spannungswandler mit Anzapfung der Primär- und Sekundärwicklung
720			2 Einphasen-Spannungswandler in V-Schaltung
721			3 Einphasen-Spannungswandler in Sternschaltung
722			3 Einphasen-Spannungswandler mit 2 Sekundärwicklungen, Primärwicklung in Sternschaltung, je 1 Sekundärwicklung in Sternschaltung und offener Dreieck-Schaltung
723			Drehstrom-Spannungswandler in Sternschaltung oder Fünfschenkel-Spannungswandler in Sternschaltung, 4. u. 5. Schenkel unbewickelt
725			Nebenwiderstand

Leitungspläne für Starkstromanlagen.

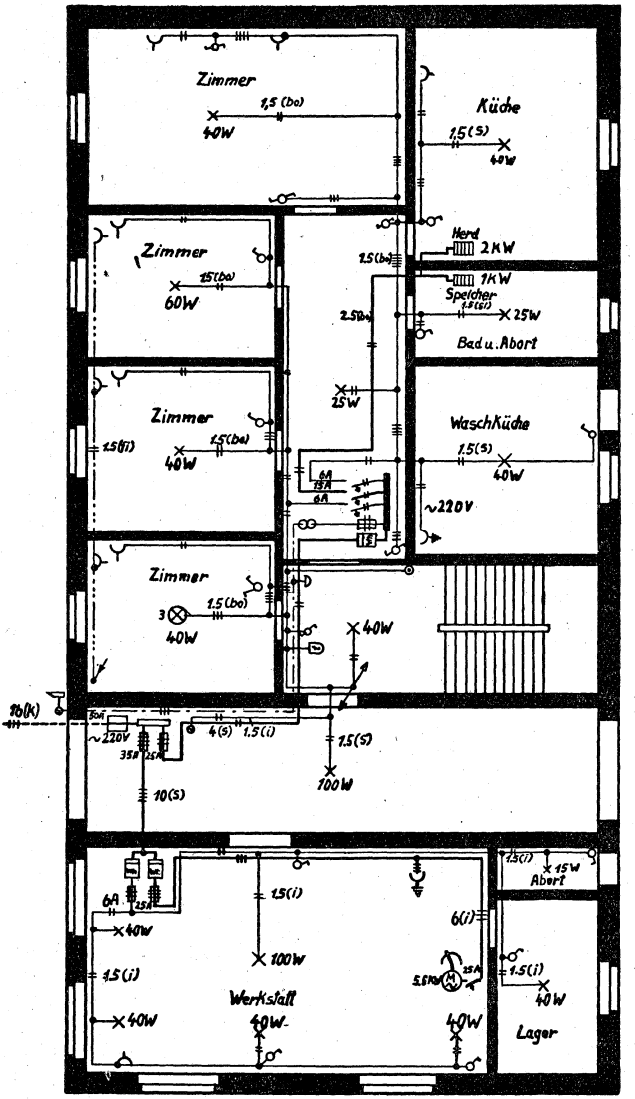
VDE-Nr.	Schaltzeichen	Benennung
		Leitungsverlegung und Verteilung
803		a) von oben kommende oder nach oben führende Leitung b) mit Energieführung nach oben c) mit Energieführung von oben
804		a) von unten kommende oder nach unten führende Leitung b) mit Energieführung nach unten c) mit Energieführung von unten
805		Hausanschluß
806		Verteilungstafel
807		Gekapselte Verteilung
		Schaltgeräte
809		Schalter nach VDE 0610/1935 § 14 a) Ausschalter 1 (einpolig) b) Ausschalter 2 (zweipolig) c) Ausschalter 3 (dreipolig) d) Umschalter 4 (Gruppenschalter) e) Umschalter 5 (Serienschalter) f) Umschalter 6 (Wechselschalter) g) Umschalter 7 (Kreuzschalter)
810		Tastschalter (früher Klingelknopf)
814		Sterndreieckschalter
815		Steckdose
816		Steckdose mit Schutzkontakt
817		Schalter mit Steckdose
		Verbraucher
820		Einzelleuchten a) Leuchte allgemein b) Leuchte mit Schalter c) Leuchte mit Verdunkelung d) Notleuchte e) Panikleuchte f) Scheinwerfer g) Leuchtröhre
821		Mehrfachleuchte a) allgemein mit Lampenzahl b) mit getrennten Kreisen, z. B. Mischlicht c) mit Verdunkelung d) mit einer Notleuchte e) mit Panikleuchte

Leitungspläne für Starkstromanlagen.

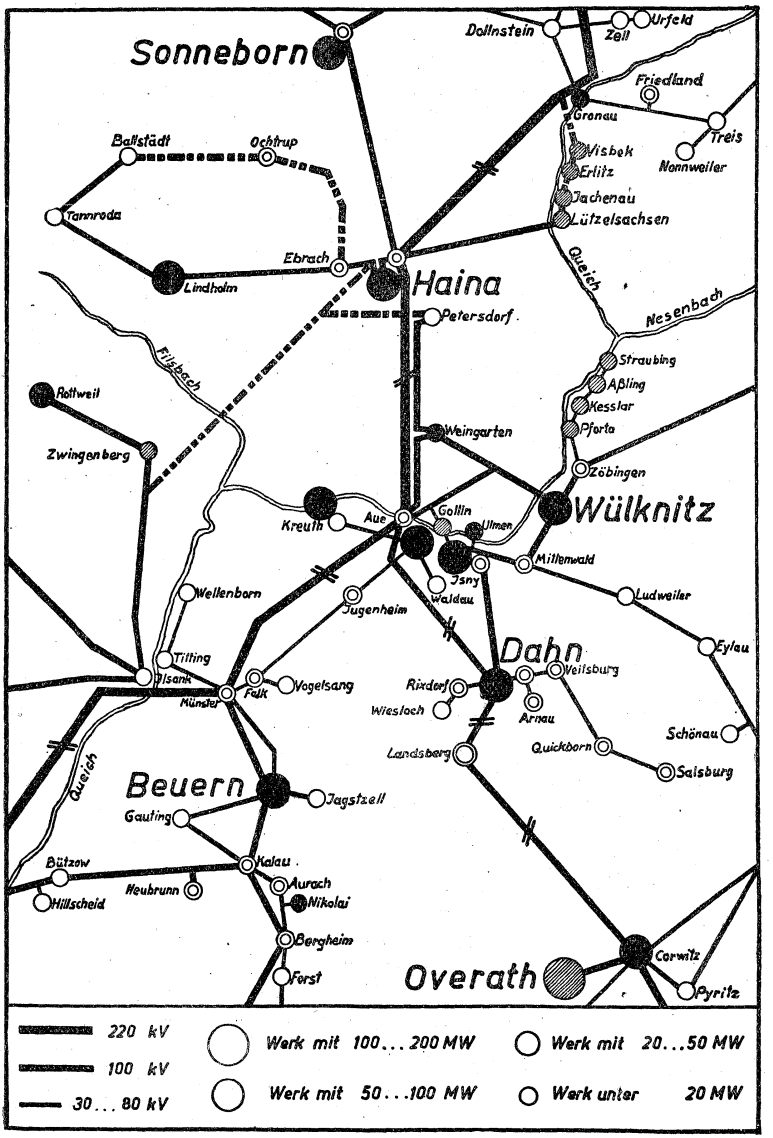
VDE-Nr.	Schaltzeichen	Benennung
831		Uhren a) Hauptuhr b) Nebenuhr c) Schaltuhr
		Werke
	b	Grundzeichen für Werke als
832 und 836	c	a) Freiluftanlage b) oberirdische Innenraum-Anlage c) unterirdische Anlage
	d	d) fahrbare Anlage
	e	e) Mastanlage
833 und 837		Zusatzzeichen für a) Wärmekraftwerk, falls erforderlich mit eingeschriebenem Zusatz Da = Dampfkraft Di = Dieselkraft Ga = Gaskraft b) Wasserkraftwerk c) Wärme- und Wasserkraftwerk d) Windkraftwerk e) Blindleistungswerk f) Umspannwerk g) Umformerwerk h) Stromrichterwerk i) Schaltwerk
		Beispiele für
834		Wasserkraftwerk als oberirdische Innenraum-Anlage 60 MVA, 6/100 kW
—		Umspannwerk mit Stromrichterwerk als oberirdische Innenraum-Anlage 2000 kW, 100/6 kV, 500 V—
—		Unterirdische Schaltstelle 10 kV

VDE-Nr.	Schaltzeichen	Benennung	VDE-Nr.	Schaltzeichen	Benennung
		Leitungsmaste	846		Freileitung an A-Mast
840		Freileitung an Masten allgemein	847		Freileitung an Doppelmast
841		Freileitung an Holzmasten	849		Freileitung auf Stützpunkt mit Zuganker
842		Freileitung an Stahlmasten	850		Freileitung auf Stützpunkt mit Strebe
843		Freileitung an Stahlgittermasten	851		Dachständer für Ortsnetzleitung
844		Freileitung an Eisenbetonmasten	852		Dachständer für Hausanschluß

Beispiel eines Installationsplanes.



Beispiel eines Leitungsplanes.



Sachwortverzeichnis.

	Seite
Abbinden der Freileitungen	311
Ableiter	15
Abschaltleistung	120, 272
Abschaltstrom	121, 272
Absorption	565
Abspannmast	314
Abzweigkästen	356
Abzweigmuffen	339
Aderbruch	342
Akkumulatoren	4, 39, 42, 45, 216
Aufstellung	42
Al-Cu-Anschlußteile	161
Al-Cu-Stab	318
Aluminiumflachschienen	148
Aluminiumkabel	287
Aluminiumleitungen	13, 149, 395
Anschlüsse	317
Belastungstabelle	287
Ampere (A)	1
Amperemeter	5
Amperemetrischer Erdschlußschutz	60
Amperestunden (Ah)	4, 40
Amperestundenzähler	453
Anbaumotoren	492
Anbausteuerungen	246, 399
Anker für Freileitungsmaste	300
Anker von Maschinen	1
Ankerregelung	17
Ankerspulen	1
Anlassen von	
Drehstrommotoren	490, 506, 511
Gleichstrommotoren	518
Umformern	103, 113
Synchronmotoren	511
Anlasser	17, 518
Anlaßgeräte	506
Anlaßschaltung	19, 511
Anlaßschleifringläufer	20, 490
Anlaßumspanner	19, 511
Anlaßwiderstand	17
Anlaufbedingung für Motoren	470
Anlaufmoment	19
Anlaufstrom	17, 19, 61, 471
Anleuchten	584
Anschluß von Al-Leitungen	395
Anschlußaugen	318
Anschlußenden	319
Anschlußgeräte	381
Anschlußplan	202
Ansprechzähler	193
Antrieb durch Kraftmaschinen	25
Antriebe für	
Regler	234
Schalter	168, 174
Antriebsmaschinen	25
Anwurfmotor	115, 495
Anzapfungen an Transformatoren	11, 66
Anzugs(dreh)moment	19, 485
Arbeitsplatzbeleuchtung	556
Arbeitsstromauslöser	403
Arbeitsstromschaltung	179
Arcatom-Schweißverfahren	604
Asynchrones Anlassen von	
Einankerumformern	113
Synchronmotoren	511
Asynchronmotoren	18, 481
(siehe auch Motoren)	
mit Erregermaschine	511
Aufschweißen von Kabelschuhen	319
Auftragsschweißung	602
Ausdehnungsgefäß	67, 76
Ausgleichsätze	96, 106
Ausläuferstation	220, 224
Auslösearten der Ölschalter	177
Auslösemagnete	7
Auslöser	169, 176, 182, 402
Ausschalter	6
Austrocknung von Öl	74
Außenbelüftung, Motoren mit	21, 482, 492
Automat, Elfa-	7, 394
Bandbewehrte Kabel	325
Banderder	197
Bandschaltbild	244
Bandpanzerleitungen	14
Batterie, Akkumulatoren-	4, 39, 42, 45, 216
Batterie-Gerät (Weidezaun)	421
Batterieladung	39, 81, 85
Batteriespannung	45
Bauart „Erhöhte Sicherheit"	414
Bausteinschaltbild	242
Bearbeitung von Magnesiumschienen	157
Bedienungsgänge	43
Beglaubigung von Zählern	452
Belastung von	
Aluminiumschienen	150
blankem Flachkupfer	148
Decken und Treppen	550
Erdkabeln	287
Hanf- und Drahtseilen	545
isolierten Aluminiumleitungen	287
isolierten Kupferleitungen	287
Magnesiumschienen	154
Beleuchtung	556
Berechnung	575
Betriebskosten	591
von Schaltwarten	242
Beleuchtungskalender	590
Beleuchtungsmesser	451, 572
Beleuchtungsstärke	572, 582
Beleuchtungstechnik	570
Bemessung von Leitungen	284
Berührungsspannung	7
Betätigung bei Schaltern	398
Betätigungsgeräte	128
Betätigungsschalter	7, 8, 128, 248
Betätigungsventil	207
Betonfundamente	546
Betriebsmeßgeräte	443
Bimetallauslöser	8, 402

Seite

Blanke Leitungen 13, 147, 286, 299
Bleiakkumulator 39
Bleikabel 14, 324
Blendung 567, 573
Blindlast 56
Blindlastverteilung 56
Blindleistung 516
Blindleistungsmesser 437
Blindschaltbild 242
Blindstrom 434, 510
Blindstrommesser 142
Blindverbrauchzähler 457, 516
Blindwiderstand 266
Brückenschaltung 80
Breitstrahler 570
Buchholzschutzrelais 67
Bunde für Freileitungen 311
Bürsten 1
Bürstenabhebevorrichtung 20
Bürstenbolzen, -halter, -stern 1
Bürsteneinstellung 494

Centralampen 561
Cos φ 3, 94, 432, 510

Dachständer 302
Dämmerungsanzeiger 572
Dampfmaschinen 25
Dampfturbinen 25
Dauerkurzschlußstrom 264, 275
Dauerstromstärke (zulässige) 287, 296
Deckendurchführungen 373
Dieselmotoren 26, 61
Dieselschweißwagen 602
Differentialrelais 56, 58
Differentialschutz 57
Direkte Kupplung 29
Doppelfrequenzmesser 53
Doppelmast 301
Doppelnutläufer 18, 483
Doppelnutmotoren 19, 483
Doppelsammelschienen 199, 205
Doppelschlußgeneratoren 2, 36, 37, 50
Doppelschlußmotoren 17, 518
Doppeltarifzähler 456
Doppelwegschaltung 80
Doppelzellenschalter 5, 46
Drahtseile (zulässige Belastung) 545
Dreheisenmeßgeräte 429
Drehfeldrichtungsanzeiger 51, 449
Drehmoment 468
Drehregler 91, 111, 486
Drehrichtung von Motoren 483, 492
Drehschalter 6
Drehspulmeßgerät 428
Drehstrom 2
-Anlagen 50
-Erregermaschinen 511
-Generatoren 3, 50, 54
-Kommutatormotoren 20, 486
Drehstrommotoren 18, 481, 498, 519
Beseitigung von Störungen 529
Inbetriebsetzung 525
Läuferarten 18, 483
Schaltungen 402, 489, 522
Drehstromzähler 5, 453
Drehumspanner 10, 91, 111
Drehzahlen von Maschinen 27, 471
Drehzahlregelung
Drehstrommotoren 486
Nebenschlußmotoren 17, 472
durch Stromrichter 97

Seite

Drehzahlverstellvorrichtung 9, 53
Dreieckschaltung 3, 18, 70, 486
Dreileiteranlagen (Gleichstrom) 12, 35
Dreiphasen-Erdungswandler 138
Drosselspulen 267
für Einankerumformer 111
für Gleichrichter 82
für Kurzschlußbegrenzung 269
für Umspanner 72
Druckfeste Kapselung 414
Druckgasschalter 12, 167, 265
Druckknöpfe 8, 248
Druckknopfschalter 7, 128, 248, 414
Druckknopfsteuerung 5, 8
Druckluftantrieb 168
Drucklufterzeugung 172
Dunkelschaltung 53
Dunkelstunden (Tafel) 590
Durchführungen 147
Durchhang von Freileitungen 309
Durchlassung (Licht) 566
Durchmesser von
Isolierrohren 346
Kabeln 325
Duro-Induktionsofen 598
Dynamomaschinen 1

Edelgasröhren 557, 586
Eigenbedarf von Kraftwerken 201
Eigenerregung 3
Eigenverbrauch der Meßinstrumente und Relais 135, 138
Einankerumformer 10, 110
Einbaumotoren 492
Einbaurahmen 129
Einbausteuerungen 246, 399
Einbautafel 129
Einfachnutläufer 18, 483
Einfachsammelschienen 199
Einfachzellenschalter 5, 46
Einheitsumspanner 70
Einphasenspannungswandler 137
Einphasen-Wechselstrommotoren 495
Einphasiger Wechselstrom 2
Einrichtbetrieb 408
Einsatzsteuerung 246
Einschaltstrom 485, 506
Einwegschaltung 81
Einziehen der Drähte 355
Eisengleichrichter 86
Eisenwiderstände 267
Eldro-Gerät 501
Elektrische Arbeit 3, 5
Elektrische Leistung 3
Elektrische Ventile 81
Elektrizitätszähler 5, 452
Elektromagnete 1, 8
Elektromotoren 16
Elektromotorische Kraft EMK 40
Elektronenstrahl-Oszillograph 450
Elektrotechnische Bezeichnungen 1
Elektrowärme 596
Elektrowärmegeräte 608
Elektrowerkzeuge 502
Elektrozaun 421
Elfa-Automat 7, 394
Endbunde von Freileitungen 31
Endschalter 248
Endverschluß, Kabel- 158, 333
Entladewiderstand für Kondensatoren 516
Entladungslampen 21
Entladung von Akkumulatoren 5, 39
Entleerungsspeicher 615

Seite

Entlüftung ... 622
Erder ... 316
Erdkabel ... 324
  Belastungstabelle ... 287
  Verlegung ... 326
Erdplatten ... 197
Erdschluß ... 10, 56, 342
Erdschlußmesser ... 441
Erdschlußprüfer ... 10, 440
Erdschlußschutz ... 56, 58, 406
Erdung ... 12, 194, 314, 388, 417
Erdungsprüfklemme ... 316
Erregermaschinen ... 3, 50
  Drehstrom- ... 510
Erregung ... 3, 50
Ersatzstromquellen ... 61
Erwärmungsgrenze von
  Maschinen ... 474
  Umspannern ... 77
Explosionsgeschützte Schalter ... 411, 413
Explosionsgeschützte Motoren ... 483

Fahrbare Umspanner ... 231
Faltverteilungen ... 259
Fassungsadern ... 14
Faßsprühanlage ... 75
Fehlergrenzen bei
  Spannungswandlern ... 137
  Stromwandlern ... 134
  Zählern ... 452
Fehlerortsbestimmungen ... 342, 451
Fehlerortsmeßgerät ... 344
Fehlerspannungsauslöser ... 7, 404
Feldmagnete ... 1
Feldschwächung ... 18, 38, 60
Fernbetätigung ... 5, 407
Fernschalter ... 124
Fernschaltgeräte für Ölschalter ... 180
Fernschaltung ... 8, 398, 403
Ferrodynamische Meßgeräte ... 430
Festmengentarif ... 457
Feuchtraumleitungen ... 369
Flacheisenbügel ... 45
Flachkupfer
  Belastung ... 148
  Gewichte ... 148
Flachschienenträger ... 147
Flachversenkte Geräte ... 389
Flakosteckvorrichtung ... 387
Flammenschweißverfahren ... 317
Flexoleitungen ... 378
Fliehkraftschalter ... 496
Flüssigkeitsanlasser ... 508
Flutlichtanlagen ... 583
Flutlichtbeleuchtung ... 570
Freiauslösung für Ölschalter ... 174
Freileitungen
  Durchhang ... 310
  Verlegung ... 299
Freileitungsabzweig ... 314
Freileitungs-Trennschalter ... 314
Freistehende Steuerung ... 247
Fremderregung ... 3, 50
Frequenz ... 2
Frequenzmesser ... 9, 53, 438
Frequenzumformer ... 105
Frequenzwandler ... 106
Fundamente ... 545
Fußkontakte ... 16

Gasentladungslampen ... 557, 561
Gasgefüllte Lampen ... 21

Seite

Gasmaschinen ... 26
Gebührentarif ... 455
Gegentaktschaltung ... 81
Gekapselte
  Motoren ... 21
  Schaltanlagen ... 254
  Verteilungsanlagen ... 254
Genauigkeit von Meßgeräten ... 442
Generatoren ... 1, 35, 50
  Ausführungsformen ... 28
  Motor- ... 10, 102
Generatorschutz ... 56
Geräte für Parallelschaltung ... 132
Geschlossene Motoren ... 21, 482, 491
Gestellschluß ... 56
Gießschweißverfahren ... 321
Gittersteuerung ... 92, 97
Glasgleichrichter ... 84, 86
Glättungseinrichtungen ... 82
Gleichrichter ... 11, 79
  -Arten (Übersicht) ... 100
  für motorische Antriebe ... 97
  Parallelarbeit ... 93
  Spannungskurven ... 81
  Spannungsregelung ... 89
  Spannungsteilung ... 95
  -Schaltungen ... 80, 99
  -Umspanner ... 89
Gleichstrom
  -Anlagen ... 35, 39
  -Dreileiteranlagen ... 12, 35
  -Generatoren ... 1, 35
  -Zähler ... 453
  -Zweileiteranlagen ... 35
Gleichstrommotoren ... 16, 491, 498, 517, 524
  Ausführungsformen ... 491
  Beseitigung von Störungen ... 526
  Inbetriebsetzung ... 524
  Schaltungen ... 520
Gleitlager ... 20, 476
Glimmlampen ... 563
Glühkathodengleichrichter ... 11, 84, 100
Glühlampen ... 21, 557
Groß-Gleichrichter ... 94
Großküche ... 623
Grundgebührentarif ... 455
Gruppensicherung ... 401
Gummiader-Leitungen ... 13, 287, 347
Gummi-Bleikabel ... 14
  -Rohr ... 346
Gußverteilung ... 254

Handantrieb ... 168
Hanfseile (zuläss. Belastung) ... 545
Hartgasschalter ... 167, 173, 265
Hauptreihe bei Ölumspannern ... 68
Hauptspannung ... 3
Hauptstromregelung ... 17
Haushaltküche ... 608
Hauswasserpumpenanlage ... 619
Hebelschalter ... 5, 120
Hefner-Kerzen (HK) ... 21, 557
Heißluftofen ... 76
Heißwasserspeicher ... 615
Heißwasserversorgung ... 614
Hellschaltung ... 53
Herdanschlußgeräte ... 612
Herde ... 609
Hertz ... 2
Hilfskontakte ... 404
  für Verriegelung ... 208
Hilfspole ... 2, 18
Hilfszellen ... 46

Seite

Hintereinanderschaltung 4, 8, 41
Hochfrequenzofen 250, 597
Hochleistungs-Sicherung 191, 265, 271
Hochspannungs-Kabel 324
-Meßbrücken 345
-Schaltanlagen 198
-Schaltwagen 227
-Sicherungen 191, 272
Holzmaste 299

Ilgner-Umformer 109
Impedanz 266
Impu-Leitung 363
-Leitungsverlegung 389
-Stegleitung 363
Inbetriebsetzung
von Motoren 524
von Umspannern 73
Induktion 18
Induktionsofen 597
Induktiver Widerstand von Freileitungen 291
Induktor 446
Industriemotoren 485
Industrienetz 270
Industrieöfen 596
Industrie-Steuerung 246
Innenraumbeleuchtung 568
Innenraumschaltanlagen 208
Installationsgeräte 282
Installations-Selbstschalter 7, 394
Ionenableiter 15, 127, 315
Isokleinendverschlüsse 158
Isolations-Fehler (Aufsuchen) 342
-Messer 10
-Messungen 342, 439, 446
-Prüfer 9, 445
-Widerstand 9, 345, 439
Isolatoren 15, 146, 304
Isolierrohr 15, 346
-Durchmesser 346
-Verlegung 346
Isolierstofftafeln 247
Isolierte Leitungen 13, 286, 347
Verlegung 346
Isolierung 415

Kabel 14, 324
Abladen 328
Auslegen 328
Belastungstafel 287
-endverschlüsse 158, 333
-graben 327
-Prüfgleichrichter 345
-Schutz 327
-Träger 331
-Trommel 330
-Verlegung 158, 324
-Verteilungsschrank 252
Käfigläufer 18, 483
Kammerofen 599
Kapazität von Akkumulatoren 4, 40
Keilriementriebe 537
Kellerrollen 45
Kennfarben 157
Kerbverbinder 313
Kilowatt (kW) 3, 17
-Stunden (kWh) 3
Kilowattstundenzähler 5, 452
Kippmoment 468, 470
Kippschalter 6, 384
Kleinautomaten 7, 258

Seite

Kleinmeßbrücke 444
Kleinstmotoren 497
Kleinspannung 416
Klemmenbezeichnungen von Maschinen und Anlassern 517
Klemmkabelschuh 313
Kochherde 609
Kochstromtarif 608
Kohlefadenlampen 21
Kohlewiderstandsregler 55
Kolbendampfmaschine 25
Kollektor 1
Kommutator 1
-Motoren 20, 486
Kondensatoranlagen 514
Kondensatoren für Gleichrichter 82
Kondensatoren (-Starkstrom) 125, 413, 510, 513
Kondensatormotoren 496
Kompoundgeneratoren 2, 36
Kompoundierung 2, 17
Konsole für Motoren 549
Kontaktmeßgerät 55
Kraftmaschinen — Antrieb 25
Kraftwerk 24, 201
Kragensteckvorrichtungen 6, 390
Kranschaltkasten 411
Kreuzschalter 6, 592
Kühlung
von Notstromsätzen 62
von Gleichrichtern 85, 96
Kühlwasserpumpe 62
Kugellager 20, 476
Kugelschalter 248
Kunststoffisolation (Kabel) 162
Kupferkabel 287
Kupferleitungen 13, 148
Belastungstabelle 287
Bemessung 286
Kupplung (direkte) 29
Kupplungssteckvorrichtung 385, 392
Kurbelinduktoren 9, 446
Kurzschluß 6, 10, 56, 264, 342
-Gefahren 264
-Läufer 18, 483
-Leistung 266
-Schutz 402
-Sicherheit (Anlagen) 263
-Spannung bei Umspannern 68, 71
-Ströme 273
-Vorrichtungen an Motoren 20
-Wirkungen 278
Kurzträge Patrone 16
Kurzzeichen für Kabel 325

Ladesätze 106
Ladestrom für Akkumulatoren 40
Ladung von Akkumulatoren 39, 46, 81
Lager u. Wartung 476
Lampenarten 21, 558
Lampenschaltungen 592
Lastschalter 70
Laststufenschalter 70, 91
Lastverteilung bei
Drehstromgeneratoren 54
Gleichstromgeneratoren 36, 38, 50
Umspannern 72
Läuferanlasser 20
Läuferarten von Drehstrommotoren 18, 483
Lebensdauer von Glühlampen 559
Leistung von Kraftmaschinen 26
Leistung von Motoren 467
Leistungsfaktor (cos φ) 3, 94, 432, 510
Leistungsfaktormesser 5, 142, 432

Seite

Leistungsfaktorverbesserung ... 510
Leistungsmesser ... 5, 140, 430
Leistungsschalter ... 264
für Hochspannung ... 166
Leistungsschilder von Maschinen ... 17, 480
Leistungstrennschalter ... 167
Leistungsumspanner ... 70
Leistungsverlust ... 13, 290
Leiterbruch ... 342
Leitfähigkeit ... 13, 290
Leitungen ... 283
Bemessung ... 284, 290
für beweglichen Anschluß ... 378
Leitungsarten ... 13
Leitungsdrähte ... 299
Leitungsmaste (Aufstellung) ... 305
Leitungsnetze ... 283
Leitungspläne ... 631, 642
Leitungsprüfung ... 448
Leitungsquerschnitt (Berechnung) ... 286, 290
Leitungsträger ... 146
Leitungstrossen ... 14
Leitungsverlegung ... 162
Leitungsweg ... 304
Leonardschaltung ... 108, 488
Leuchtdichte ... 564
Leuchten ... 563
Leuchtöfen ... 621
Leuchtröhren ... 22, 586
Leuchtschaltbild ... 242
Lichtausbeute ... 557
Lichtbatterie ... 45
Lichtbogengleichrichter ... 83
Lichtbogenöfen ... 249, 596
Lichtbogenschutz ... 209
Lichtbogenschweißung ... 600, 605
Lichtfarbe ... 574
Lichtleistung ... 21 558
Lichtquellen ... 557
Lichtstärke ... 21 557
Lichtstrom ... 21, 556
Lichttechnik ... 555
Lichtverteilung ... 568
Lichtverteilungs-Kurven ... 567, 583
Lötverbindungen ... 322
Lüfter ... 622
Luftschütz ... 400
Lumen (lm) ... 21, 557, 575
Lux ... 572

Magnesiumschienen ... 153
Magnetgehäuse ... 1
Magnetregler ... 4, 50, 56
Maschennetz ... 265, 285
Maschinengründungen ... 545
Maschinenumformer ... 101
Massivschmelzen ... 319
Maste (Aufstellung) ... 305
Mastenschalter ... 314
Mastloch ... 305
Mastumspannstation ... 225
Maximumtarif ... 456
Megohm ... 439
Mehrfachgeräte ... 388
Mehrfachtarif ... 456
Meisterwalzen ... 248
Melderelais ... 129
Messungen ... 425
Meßgeräte ... 5, 130, 425
Eigenverbrauch ... 135, 138
Genauigkeit ... 442
Schalttafel- ... 427
Schaltungen ... 140

Seite

Schreibende ... 442
Sinnbilder ... 143
Meßleitungen ... 13, 161, 165
Meßwandler ... 133, 443
Metallanlasser ... 507
Metalldampflampen ... 21, 561
Metalldrahtlampen ... 21, 558
Mindestabstände von Leitungen ... 375
Mindestquerschnitte von Leitungen ... 286
Minimalstromautomat ... 8
Mischlicht ... 21, 578
Mittelleiter ... 12
Moorelicht ... 557, 589
Motorantrieb für Schalter ... 168
Motoren
Allgemeines ... 467
Anzugsmoment ... 485
Aufstellung ... 550
Ausführungsformen ... 483, 492
Beförderung ... 540
Beseitigung von Störungen ... 526
Drehmoment ... 468
Drehrichtung ... 483, 492
Drehstrom- ... 18, 481
Drehzahlen ... 485
Drehzahlregelung ... 486
Einschaltstrom ... 485
Gleichstrom- ... 16, 491
Grenzerwärmung ... 474
Inbetriebsetzung ... 524
Isolation ... 473
Leistung ... 468
Schaltungen ... 489, 517
Schutzarten ... 475
Stromverbrauch ... 471
Synchron- ... 510
Überlastung ... 472
Motor-Generatoren ... 10, 102
Motorsicherheits-Fernschalter ... 410
Motorschutzschalter ... 7, 397, 405, 409
Muffenabzweige ... 318
Muffenverbindungen ... 317
Münzzähler ... 457

Nahtschweißung ... 606
Natriumdampflampe ... 21, 561
Nebenschlußgeneratoren ... 1, 35
Nebenschlußmotoren ... 17, 518
Nebenschlußregler ... 4, 36, 50, 518
Nenndrehmomente der Motoren ... 469
Nennstrom der Sicherungen ... 296
Nennstromstärke, genormt ... 199
Netzgerät für Weidezaun ... 422
Netzmodell ... 265
Niederfrequenzofen ... 597
Niederspannungsschaltgeräte ... 19, 413
Niederspannungsschalttafeln ... 232
Nitralampen ... 21, 560
Nockensteuerschalter ... 509
Notbeleuchtung ... 217
Notstromanlagen ... 61
Notstromsatz ... 61
Notstrom-Dieselsatz ... 63
Nulleiter ... 12, 35, 309, 347
Nulleitung ... 3, 35
Nullpunkt ... 3, 12
Nullung ... 387, 419

Öfen
elektrische Industrie- ... 596
Induktions- ... 597
Lichtbogen- ... 596

	Seite
Schalteinrichtungen	249
Widerstands-	598
Ofenumspanner	70
Ohm (Ω)	1
Ölaufbereitung	74
Öldruckregler	55
Ölfernschalter	399, 407
Ölkapselung	414
Ölkonservator	67
Ölprüfgeräte	74
Ölschalter	7, 11, 12, 174, 265
Antriebsarten	174
Auslöscarten	177
Bedienungsvorschriften	181
Betätigungsarten	176
Fernschaltgeräte	180
Ölschütz	400, 407
Öltrocknung	74
Ölumspanner	66
Öluntersuchung	74
Öl, Vorschriften für	74
Ortsnetz	285
Osram-Lampen	21, 559
Oszillograph	450

Paketschalter	626
Panzeradern	14
Papierrohr	15, 346
Parallelschaltung von	
Drehstromgeneratoren	9, 52
Einankerumformern	116
Generator und Batterie	47, 50
Gleichrichtern	93
Gleichstromgeneratoren	8, 36
Umspannern	71
Paßschrauben	16, 393
Patronensicherungen	7, 16, 123, 393
Pendelschnüre	14
Pferdestärke (PS)	17
Phasengleichheit	9, 53, 73
Phasenlampen	9, 53
Phasenmesser	5
Phasenschieber	510
Phasenspannung	3
Phasenspannungsmesser	53
Phasenvergleicher	9
Phasenvoltmeter	9, 53
Photozellen-Geräte	451, 572
Pöhlerschalter	49
Polrad	3
Polumschaltbare Motoren	488
Polygonnetz	285
Porzellan-Isolatoren	15, 304
Porzellanklemmen	15
Porzellanrollen	15, 45
Potentialregler	10
Primärwicklung	11
Prüfdrähte	13
Prüfklemmen	165
Puffersätze	108
Punktschweißung	605

Quecksilberdampf-Gleichrichter	11, 85, 100
Quecksilber-Hochdruck-Dampflampe	21, 562
Querschnitt, Berechnung	286

Radiator	621
Raumbeheizung	619
Raumbeleuchtung	568
Reaktanz	266
Reaktionslötverfahren	323
Rechentafel für Leitungen	288, 292
Reduktionsofen	597
Regelbauweise	210, 212
Regelsätze	108
Regelschleifringläufer	20, 486
Regelumspanner	10
Regelzusatzumspanner	91
Registrieruhr	463
Reibelötverfahren	322
Reihenklemmen	165
Reihenschlußgeneratoren	2
Reihenschlußmotoren	17
Reiner Schaltbetrieb	407
Relaisauslösung für Ölschalter	184
Relais (Eigenverbrauch)	135, 138
Kennzahlen	190
-Schaltungen	185
Relaislose Regler	70
Relo-Regler	70
Repulsionsmotoren	499
Riemen	531
-Breite	532
-Scheiben-Durchmesser	534, 537
-Schlupf	533
-Spannrolle	534
-Triebe	29, 533
-Verbindungen	533
Ringnetz	285
Rohrausleger	303
Rohrdraht	13, 365
-Verlegung	365
Röhrenlampen	560
Rohrerder	197
Rohrgestänge	303
Rollenlager	20, 476
Rückleistungsauslösung	404
Rückmelder	129
Rückstrahlung	565
Rückstrom	96
Rückstromausschalter	7, 404
Rückstromautomat	7
Rückstromschutz	403
Rückwattschalter	413
Rückzündung	86
Ruhestromschaltung	179

Sammelschienen	199
Sammelschienenkästen	254
Sammler	4, 39
Schäkelisolator	304
Schaltanlagen	119
Aufbauteile	120
gekapselte	10, 254
Innenraum-	208
Planung und Aufbau	198
Richtlinien für baulichen Teil	218
Schaltgeräte	5, 120, 381
Schaltgruppen von Umspannern	68
Schalthäufigkeit	400
Schaltkästen	228, 252
Schaltkurzzeichen	631
Schaltleistung	400, 407
Schaltpult	10, 237
Schaltschrank	63, 228
Schaltstation	219
Schalttafelmeßgeräte	130
Schalttafeln	9, 232, 258
Schalttafelsicherung	393
Schaltung von Kondensatoren	125, 413, 514

Seite

Schaltungen für
Akkumulatoren-Ladung ... 45
Drehstromanlagen ... 50
Drehstromerregermaschinen ... 511
Drehstrommotoren ... 519
elektrische Lampen ... 592
Gleichrichter ... 80, 99
Gleichstromanlagen ... 35
Meßgeräte ... 140
Motoren und Anlasser ... 489, 520
Relaisauslösungen ... 179, 185
Umformer ... 102, 112
Umspannerstationen ... 223
Zähler ... 144
Schaltwagen ... 227
Schaltwalzenanlasser ... 20, 508, 521
Schaltwarte ... 232, 237
Schaltzeichen (Erklärung) ... 631
Schaltzelle ... 209
Schattigkeit ... 573
Schaufensterbeleuchtung ... 579
Schellenklemme ... 313
Schellenstütze ... 332
Schildlager ... 21
Schlaganker ... 402
Schleifringe ... 3
Schleifringläufer ... 18, 486
Schmelzeinsätze ... 16, 122
Schmelzschweißung ... 600
Schmelzsicherung ... 7, 122, 392
Schnellauslöser ... 7, 402
Schnellregler ... 4, 55
Schnellschalter ... 412
Schraubenverbindung für
Leitungen ... 150, 313
Schrägstrahler ... 569
Schukosteckvorrichtungen ... 386
Schütze ... 8, 399, 411
Schützensteuerung ... 246, 400, 509
Schutzarten von Motoren und Schaltern ... 21, 398, 475, 482, 491
Schutzerdungen ... 194
Schutzmaßnahmen ... 415
Schutzleitung ... 6, 373, 386
Schutzleitungssystem ... 418
Schutzreaktanz ... 215
Schutzrelais ... 184
Kennzahlen ... 190
Schutzschaltung ... 388, 420
Schwallwassergeschützte Motoren ... 475, 491
Schwefelsäure für Akkumulatoren ... 39, 41
Schweißdraht ... 602
Schweißen, elektrisches ... 600
Schweißelektroden ... 602
Schweißstromerzeugung ... 603
Schweißumformer ... 602
Schweißumspanner ... 604
Schweißverbindungen ... 151, 317
Schwenkschalter ... 248
Schwingungsschreiber ... 450
Schwungmassen, Bestimmung der ... 33
Schwungradumformer ... 109
Seiltriebe ... 29, 539
Sekundärwicklung ... 11
Selbstanlauf von Notstromsätzen ... 62
Selbsterregung ... 3, 50
Selbsthaltekontakt ... 404
Selbsttätige Ladung von Akkumulatoren-Batterien ... 49
Selbstschalter ... 124, 264, 394
Selbsttätige Spannungsregelung ... 4, 55, 107, 113
Selbsttätige Überstromausschalter ... 7, 35, 51

Seite

Selbstunterbrecher ... 405
Serienschalter ... 6, 592
Sicherheitseinrichtungen in Schaltanlagen und Stromversorgung ... 215
Sicherungen ... 6, 16, 122, 272, 382
Hochspannungs- ... 191, 272
Signalgeräte ... 128
Signalkontakt ... 404
Signallampen ... 128
Signalleitungen ... 161
Signaluhr ... 463
Sinnbilder für Meßgeräte ... 143
Soffittenlampen ... 560
Sonderreihe für Ölumspanner ... 68
Spannrollentriebe ... 534
Spannschienen ... 534
Spannung (V) ... 1
Spannungsabfall (Berechnung) ... 290
für induktionsfreie Kupferleitungen ... 297
für je 100 m Strecke ... 296
Spannungsmesser ... 5, 140, 429
Spannungsregelung
am Umformer ... 106, 111, 113
unter Last ... 70
am Umspanner ... 70
für Gleichrichter ... 89
Spannungsregenerierung Dr. Bütow ... 59
Spannungsregler ... 57, 107, 113
Spannungs-Schnellregler ... 4, 55
Spannungsteiler ... 12, 35
Spannungsteilung ... 95, 113
Spannungswandler ... 136
Sparschaltung ... 68, 128
Sparumformer ... 106
Sparumspanner ... 70, 89
Sparzellen (Akku) ... 46
Speiseleitungen ... 13
Speisepunkte ... 13
Spritzwassergeschützte Motoren ... 21, 475, 482, 491
Stahlbatterie ... 216
Stahlofen ... 596
Stahlpanzerrohr ... 15, 346
(Verlegung) ... 346
Stahlrohr ... 15, 346
(Verlegung) ... 346
Ständer ... 18
Ständeranlasser ... 19
Starkstromkabel ... 324
Stationen, Umspanner- ... 219
Stationsschalter ... 412
Steckdose ... 6, 365, 384
Stecker ... 6, 385
Steckvorrichtungen ... 6, 386, 390
Sterndreieckschalter ... 19, 506, 523
Sternnetz ... 285
Sternpunkt ... 3
Sternschaltung ... 3, 18, 70, 489
Steuergeräte ... 506
Steuergitter ... 91
Steuerleitungen ... 161, 165
Steuerquittungsschalter ... 129
Steuerschrank ... 247
Steuerungen ... 246
Steuerwalzen ... 248, 509
Störungen an Motoren ... 526
Stoßkurzschlußstrom ... 264
Strahlennetz ... 284
Strahlungs-Lichtbogenofen ... 596
Streifensicherungen ... 7, 16
Strombegrenzer ... 457
Stromerzeugungsanlagen ... 23
Stromlaufschaltplan ... 203

Seite

Stromleiterwerkstoffe ... 147
Strommesser ... 5, 140, 427
Stromrichter ... 93
Stromstärke (A) ... 1, 628
Stromstärke (zulässige) ... 287, 296
Stromverbrauch von Motoren ... 471
Stromwandler ... 134, 444
Stromwandlerauslösung ... 179
Stufenschalter ... 70, 91
Stufenumspanner ... 70
Stufenwähler ... 70
Stumpfschweißung ... 606
Stützen ... 304
Stützpunkte ... 299
Synchroner Lauf von Maschinen ... 9
Synchronisator ... 54
Synchronisierter Asynchronmotor ... 512
Synchronisierung ... 53, 132
Synchron-Generatoren ... 51
-Motoren ... 481, 510
Synchronoskop ... 9, 54, 132
Synchronuhr ... 464

Tardo-Sicherungen ... 7, 16, 393
Tarife ... 455
Tarifwächter ... 395
Temperaturen von Maschinen ... 474
von Umspannern ... 77
Theaterleitungen ... 14
Thomaregler ... 55
Tiefstrahler ... 569
Tippschaltbetrieb ... 408
Tirrillregler ... 4, 55
Träga-Sicherung ... 393
Tragmast ... 301
Transformatoren (s. Umspanner) ... 11, 65
Trennschalter ... 11, 191, 314
-Verriegelungen ... 205
Trennschutzschalter ... 404, 412
Treppenbeleuchtung ... 592
Trockengleichrichter ... 11, 82, 100
Trockenumspanner ... 11, 66
Trocknung von Öl ... 74
Trocknung von Umspannern ... 77
Tropfwassergeschützte Motoren ... 21, 475, 482, 491
Turbogeneratoren ... 56, 273

Übergang auf andere Leitungsart ... 373
Überkompoundierung ... 2, 36
Überbelastung
von Motoren ... 472
von Umspannern ... 73, 78
Überlastbarkeit von Maschinen ... 26
Überlastungsschutz ... 125, 406
Überlaufspeicher ... 615
Übersetzungsverhältnis bei
Riementrieben ... 533
Seiltrieben ... 539
Umspannern ... 11, 68, 91
Übersichtsschaltplan ... 199
Überspannung ... 56, 97
Überspannungsableiter ... 15, 127, 192
Überspannungsrelais ... 57
Überspannungsschutz ... 15, 193, 315
Überstrom ... 56
Überstromauslöser ... 402
Überstrombetrieb ... 408
Überstromrelais ... 56, 185
Überstromschalter ... 7, 405
für Kondensatoren ... 413
Überstromschutz ... 57, 402

Seite

Überstromselbstschalter ... 57, 124, 398, 411
Überstrom-Unterspannungsausschalter ... 7
Überverbrauchtarif ... 456
Uhren, elektrische ... 463
Umformer ... 10, 101
Umhüllte Leitungen ... 13
Umrichter ... 93
Umspanner ... 11, 65
Aufstellung ... 75
Austrocknung ... 77
Behandlung ... 75
fahrbare ... 231
Inbetriebnahme ... 75
-Öle (Vorschriften) ... 74
Ofen- ... 70
Schaltgruppen ... 69
Schaltungen ... 88
Stationen ... 219
Temperaturen ... 78
Gleichrichter- ... 89
Übersetzung ... 68, 91
Umspannwerk ... 240
Ungleichförmigkeitsgrad ... 33
Universalmotoren ... 22, 500
Unter-Putz-Verlegung ... 351
Unterspannungsauslöser ... 7, 403
Unterspannungsrelai ... 185
Unterstromausschalter ... 7, 403
Unterstromschutz ... 403

Vakuumhaltung bei Gleichrichtern ... 97
Ventile, elektrische ... 81
Verbesserung des Leistungsfaktors ... 510
Verbindungsmuffen ... 339
Vergießen von
Endverschlüssen ... 338
Maschinen ... 547
Verkettete Spannung ... 3
Verlegung von
Feuchtraumleitungen ... 370
Freileitungen ... 299
Gummirohr ... 354
Isolierrohr auf Putz ... 346
Isolierrohr unter Putz ... 351
Kabeln ... 158, 324
Leitungen (offen) ... 375
Leitungen im Rohr ... 346
Leitungen im Putz ... 363
Rohrdraht ... 365
Stahlpanzerrohr ... 356
Verriegelungskontakt ... 404
Verriegelung von Trennschaltern ... 205
Verschiebungsfaktor ... 94
Verteilungen für
Gewerbe ... 246
in Gußkapselung ... 254
Industrie ... 246
Isolierstoffkapselung ... 255
Lichtanlagen ... 246
Stadtnetze ... 246
Verteilungskästen ... 256
Verteilungsleitungen ... 13, 16
Verteilungsschalttafeln ... 16, 258
Verzerrungsfaktor ... 94
Vierleitersystem (Drehstrom) ... 12
Volt (V) ... 1
Voltampere (VA) ... 4
Voltampere reaktiv (Var) ... 513
Voltmeter ... 5
Vorschaltwiderstand ... 45
Vorschrift für Schalter- und Umspanneröle. 74

Seite

Wanddurchführungen 45, 373
Wandlerstromauslöser 171
Walzenschalter 248
Wälzlager 20, 476
Wärmeauslöser 7, 397, 402
Wärmeeinheiten (kcal) 22
Wärmemenge einer kWh 596
Wartung der Lager von Motoren 476
Wartung von Umspannern 76
Wasserbeschaffung für Speicher 618
Wasserturbinen 26, 32
Watt (W) 3
Wattmeter (Leistungsmesser) 5
Wattmetrischer Erdschlußschutz 58
Wattregel 577
Wattstunden (Wh) 3
Wattstundenzähler 453
Wechselrichter 93
Wechselschalter 6, 592
Wechselstrom 2
Wechselstromgeneratoren 3
Wechselstromzähler 453
Weicheisenstrommesser 427
Weidezaun, elektrischer 421
Welligkeit 81
Wendepole 2, 18
Werkstattbeleuchtung 569
Wicklungsschluß 56
Widerstand (Ω) 1
blanker Aluminiumleitungen 299
blanker Kupferleitungen 299
induktiver (von Freileitungen) 291
Widerstandsheizung 22, 60

Seite

Widerstandsmessung 439
Widerstandsofen 251, 598
Widerstandsschweißung 605
Wiedereinschaltsperre 405
Windungsschluß 56
Wirkleistung 516
Wirkleistungsmesser 437
Wirkschaltplan 202
Wirkungsgrad
bei Einankerumformern 92
bei Gleichrichtern 83, 93, 98
Wirkungsgradmethode (Lichttechnik) 575

Zähler 5, 144, 452
Zeitenverbrauch 135, 138
Einstellung 460
Montage 458
Schaltbilder und -Schaltungen ... 144, 459
-Tafeln 461
-Tarife 455
Zaun, elektrischer 421
Zeitrelais 186
Zeitzähler 457
Zelle (Akkumulatorenzelle) 4, 40
Zellenschalter 5, 44
-Leitungen 44
Zickzackschaltung bei Umspannern 70
Zitzmaschinensätze 4, 48, 108
Zusatzschwungrad 32
Zweiphasen-Wechselstrom-Motoren 490
Zweileitersystem (Gleichstrom) 12
Zweiwattmetermethode 431