

gleichbar für Quellen, die nicht mit dem gleichen Apparate untersucht wurden. Darum machte Mache den Vorschlag, die Sättigungsstromstärke i in absoluten elektrostatischen Einheiten auszudrücken. Da diese Zahlen für i unbequem klein sind, rät Mache dazu, den tausendfachen Betrag der Sättigungsstromstärke, also $i \cdot 10^3$, anzugeben. Diesem jetzt wohl allgemein üblichen Gebrauch ist auch in der Tabelle auf S. 50 Rechnung getragen.

Die Aktivität der mit einem Stern bezeichneten Quellen wurde von Herrn stud. Günther Bugge gemessen.

Schon früher beobachteten Engler und Sieveking, daß die Aktivität der Quellen von Baden-Baden starken Schwankungen unterworfen ist. So betrug die Aktivität der Büttquelle einmal $i \cdot 10^3 = 82$, ein anderes Mal, bei geringem Wasserzuflauf, $i \cdot 10^3 = 109$. Ähnliche Beobachtungen machte ich bei den Wiesbadener Thermalquellen. Die Schützenhofquelle z. B. ergab an verschiedenen Tagen folgende Werte für $i \cdot 10^3 = 61, 58, 54$. Kleiner scheinen die Schwankungen beim Leitungswasser zu sein, wo an zwei verschiedenen Tagen die Werte 5,4 und 5,8 für $i \cdot 10^3$ gefunden wurden. Durch welche Ursachen die Schwankungen bei den Wiesbadener Thermalquellen bedingt sind, konnte bisher noch nicht festgestellt werden. Jedenfalls müssen die Quellen zu verschiedenen Jahreszeiten, bei verschiedenen Barometerständen, bei Regenwetter und in regenfreien Perioden usw. geprüft werden.

Da von anderer Seite eine ausführliche vergleichende Zusammenstellung der Radioaktivität der Mineralquellen beabsichtigt ist, so beschränke ich mich hier nur auf einige der bekanntesten Thermen:

Baden-Baden¹²⁾.

Namen der Quelle	E. S. E. $i \cdot 10^3$
Büttquelle	82(109)
Murquelle	24
Freibadquelle	9,9
Friedrichsquelle	6,7
Ursprungsquelle	6,0
Klosterquelle	5,8
Fettquelle	4,5
Kirchenquelle	3,3

Karlsbad¹³⁾.

Eisenquelle	38,4
Mühlbrunnen (Vordere Quelle)	31,5
Schloßbrunnen	17,4
Roter Säuerling	14,0
Dorotheensauerbrunn	7,1
Felsenquelle	4,1
Kaiser-Karlsquelle	3,7
Mühlbrunnen (hintere Quelle)	3,1

Gastein¹⁴⁾.

Grabenbrückerquelle	155
Elisabethquelle (Hauptort)	133
Wasserfallquelle	106

¹²⁾ C. Engler, Z. f. Elektrochem. **11**, 177 (1905).

¹³⁾ Mache, Wiener Monatshefte **36**, 606 (1905).

¹⁴⁾ Mache, Wiener Monatshefte **36**, 357 (1905).

Namen der Quelle	E. S. E. $i \cdot 10^3$
Chorinskyquelle	83,4
Elisabethquelle (Südquelle)	73,7
Franz Josephsstollen	64,5
Chirurgenquelle	54,5
Doktorquelle	31,5
Elisabethquelle	3,7

Wiesbaden.

Quelle Dr. Kurz	96,6
Schützenhofquelle	58,0
Quelle des Pariser Hofs	25,5
Kochbrunnen	10,2
Spiegelquelle	6,6
Adlerquelle	5,3
Quelle des Schwarzen Bocks	4,3

Zu diesen Untersuchungen stand mir eine Subvention der Kgl. Bayerischen Akademie der Wissenschaften zur Verfügung. Herr Kommerzienrat Albert in Wiesbaden, der einen Beitrag zur Anschaffung eines Fontaktoskops lieferte, danke ich auch an dieser Stelle bestens.

Auch diesmal assistierte mir Herr stud. Günther Bugge bei diesen, z. T. recht langwierigen und mühsamen Untersuchungen in ausgezeichneter Weise.

Bericht über Versuche an Steinzeug-Exhaustoren der Deutschen Ton- und Steinzeugwerke-Aktiengesellschaft in Charlottenburg. (D. T. S.-Exhaustoren.)

Von Prof. G. SCHULZE-PILLOT, Danzig-Langfuhr.
(Eingeg. d. 29.10. 1906.)

In Heft 10 des 19. Jahrganges dieser Z. ist über Versuche berichtet, die zur Feststellung der Leistungsfähigkeit der D.T.S. Zentrifugalpumpen aus Steinzeug auf Veranlassung der Erbauerin, der Deutschen Ton- und Steinzeugwerke A.-G., Charlottenburg, vom Verf. angestellt worden waren.

In Verfolg ihres Wunsches, jede fertiggestellte Maschine vor dem Versand einer einwandsfreien Prüfung auf die Güte der Konstruktion, des Materials und der Ausführung zu unterwerfen, trat nun die genannte Firma an die weitere Aufgabe heran, auch für ihre Exastoren aus Steinzeug ein Verfahren zur leichten und handlichen Prüfung von Leistung, Kraftbedarf und Wirkungsgrad festzustellen. Bedingung war dabei, daß das Verfahren ermögliche, jedem Exastor beim Versand einen Ausweis über die erfolgte Prüfung beizugeben, aus dem in Form eines Diagramms die unter verschiedenen Bedingungen geförderte Luftmenge hervorgehe. Ferner sollte die Bestimmung der geförderten Gasmenge tunlichst unter Verwendung eines selbstregistrierenden Instrumentes erfolgen, um Beobachtungsfehler und Willkürlichkeiten der Ablesung auszuschließen. Um ferner jede Störung des Beobachters zu verhindern, waren die empfindlicheren Instrumente in einem besonderen Meßzimmer untergebracht, das später im Zusammenhang

mit der Meßeinrichtung näher beschrieben werden wird.¹⁾

Es wurden Exhaustoren von jeder Größe und allen Typen zur Verfügung gestellt. An Stelle einer eingehenden Beschreibung kann auf die ausführliche Darstellung der geschichtlichen Entwicklung der D. T. S.-Exhaustoren von Plath²⁾ verwiesen werden. Die Exhaustoren, die im Jahre 1895 eingeführt wurden, bestehen, soweit sie mit dem zu

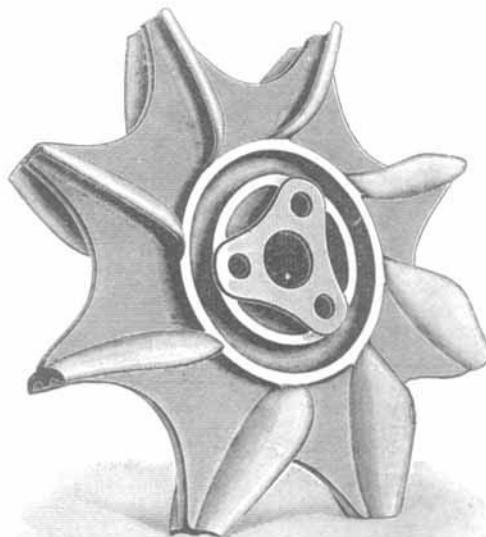


Abb. 1.

fördernden Gase und etwa abgeschiedener Flüssigkeit in Berührung kommen, vollständig aus Steinzeug. Auch das Rad, das die Flügel trägt, ist ganz aus Steinzeug (Abbildung 1); es ist auf einer eisernen Welle verschraubt, und sowohl die Verschraubung als auch die Welle ist überkleidet durch Schutzhülsen (Abb. 2), die durch die Stopfbüchsen hindurch nach außen ragen, also die Welle im Innern nirgends frei lassen. Außen ist die eiserne Welle beiderseitig in Ringschmierlagern gebettet, so daß für gute Führung und geringen Kraftverbrauch Sorge getragen ist.

Der neue Frithjotyp unterscheidet sich vom älteren Siegfriedtyp wesentlich durch die Anordnung der Zu- und Ableitung des Gasstroms. Während bei jenem die Gase oben ein- und unten seitlich austreten, liegen sich beim Frithjotyp Ein- und Ausstritt wagerecht geradlinig gegenüber; ein solcher Exhaustor kann also in jede vorhandene gerade Rohrleitung ohne jede Schwierigkeit eingebaut werden. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung liegt darin, daß man das Gehäuseoberteil hochheben

¹⁾ Die Meßmethode mit selbständiger Registrierung auf einem Meßblatt haben sich die Deutschen Ton- und Steinzeugwerke A.-G. inzwischen durch Warenzeichen schützen lassen und haben Patent beantragt.

²⁾ Zeitschrift f. d. gesamte Schieß- u. Sprengstoffwesen Nr. 9 u. 10.

kann, ohne die Rohrleitung abbauen zu müssen (Abb. 3 und 4). Das Flügelrad ist also außerordentlich leicht zugänglich. Außerdem sind die Frithjof-exhaustoren breiter gebaut und leisten daher entsprechend mehr als die Siegfriedexhaustoren mit ihren schmäleren Flügelrädern, endlich sind sie auch für die Umpanzierung mit einem Eisenmantel geeignet (Abb. 5).

Die vom Verf. angestellten Versuche konnten nun zwar nicht die hinlänglich bekannten Schwierigkeiten, welche die exakte Messung von Gasmengen bereitet, beseitigen, aber sie ergaben eine Meßmethode, die den Anforderungen einer einfachen und sicheren Handhabung hinlänglich entspricht. Hierzu mußte eine Grundlage in der Weise geschaffen werden, daß Leistung, Kraftbedarf und Wirkungsgrad zunächst einmal für alle Arten der D. T. S.-Steinzeugexhaustoren für alle innerhalb des Verwendungsgebietes liegenden Umlaufzahlen und Drosselungen eingehend gemessen wurden, und zwar der wichtigste Faktor, die Leistung in gefördertem Gas auf Grund mehrerer vergleichender Meßmethoden; die Ergebnisse, die im Nachstehenden veröffentlicht werden sollen, wurden dann in Abhängigkeit vom herrschenden Gegendruck in Tabellen und Kurvenblättern niedergelegt, zusammen mit den Berichtigungen, die sich für die Meßmethode mit dem Registrierinstrument als erforderlich herausstellten.

Wie bei den Versuchen an Steinzeugzentrifugalpumpen zeigten sich die Deutschen Ton- und Steinzeugwerke A.-G. auch diesmal in entgegenkommendster Weise bereit, die erforderlichen Anschaffungen vorzunehmen und alle nötigen Einrichtungen zu treffen, ohne Rücksicht auf die Kosten und die mannigfachen Beeinträchtigungen, die dem Betriebe aus den erforderlich werdenden Abänderungen erwachsen.

I. Ort und Zeit der Versuche.

Die Versuche fanden vom 28./12. 1905 bis 6./1 1906 und vom 10.—17./2. 1906 in dem neuen

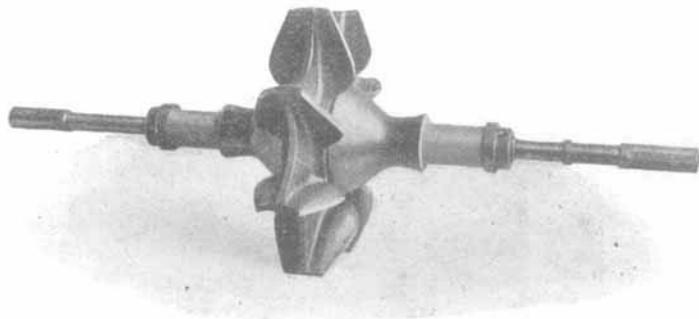


Abb. 2.

Fabrikationsgebäude für Montage und Armaturen der Deutschen Ton- und Steinzeugwerke A.-G. statt.

II. Umfang der Versuche.

Dieselben wurden mit den vorhandenen fünf Größen der Steinzeugexhaustoren (vier Größen des Typs Siegfried, eine Größe des Typs Frithjof) vorgenommen.

Die Hauptabmessungen und Betriebsangaben für diese Exhaustoren sind:

Bezeichnung.	Flügelrad-durch-messer mm	Umdrehun-gen (Touren in d. Minute)	Rohran-schluß mm
Goliath	800	1000	300
Frithjof	600	1200	300
Siegfried III	600	1200	200
II	400	1400	150
I	250	1800	100

An diesen Exhaustoren sollte durch Messung festgestellt werden:

1. die bei verschiedenen Druckhöhen gelieferte Luftmenge, und zwar für die normale Umlaufzahl, für eine höhere und eine niedere Geschwindigkeit,
2. der hierbei auftretende Kraftbedarf,
3. der Wirkungsgrad der Exhaustoren.

III. Bestimmung des spezifischen Luftvolumens

Die Messungen an Exhaustoren ergeben die Menge des in der Zeiteinheit geförderten Stoffes in Raumeinheiten, also in Kubikmetern in der Stunde, Kubikmetern in der Sekunde. Das Gewicht von 1 cbm Luft verändert sich je nach dem herrschenden Luftdruck, der Temperatur und dem Flüssigkeitsgehalt. Alle drei Faktoren sind zunächst den Schwankungen der Atmosphäre unterworfen. Diese bewegten sich zwischen 749 mm und 757 mm Q. S. bzw. $16,5^\circ$ und $22,5^\circ$. Hinzu treten die mit dem

sind nach den Gesetzen der Thermodynamik leicht auszuführen. Die Luftfeuchtigkeit wurde nicht ge-

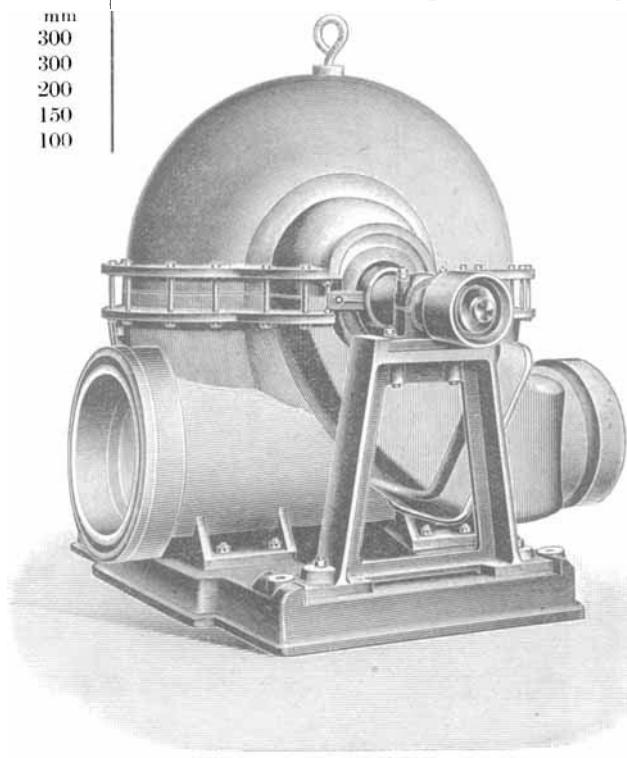


Abb. 4.

messen; aber selbst wenn man die Veränderlichkeit zwischen den Grenzen von 40% und 80% des dem Sättigungszustand entsprechen Feuchtigkeitsgehaltes annehmen will, ergeben sich Schwankungen, die unter $\frac{1}{2}\%$ bleiben.

Faßt man nun die verschiedenen Schwankungen in ihren Höchstbeträgen zusammen und geht vom Mittelwert, gegeben durch 18° , 760 mm Q. S. und 60% Feuchtigkeit aus, so ergeben sich Schwankungen von 2% nach oben und 4% nach unten.

Hier von rechnet die erste zugunsten, die zweite zu ungünstigen der Ventilatoren. Es wird später gezeigt werden, daß die Messungen von Windmengen stets eine geringere Genauigkeit als die hier höchstens auftretende Abweichung von rund 4% haben. In Wirklichkeit übrigens treten die einzelnen Faktoren niemals gleichzeitig in derselben Richtung auf, und es soll daher im folgenden die Luft für das ganze Versuchsgebiet für unveränderlich in bezug auf Volumen, Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt angesehen werden, und zwar wird in die Rechnung eingeführt ein spezifisches Volumen: $v = 0,83 \text{ cbm/kg}$.

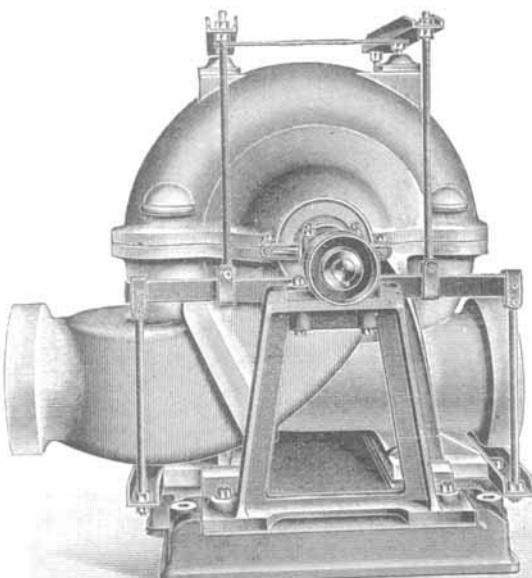


Abb. 3.

Durchgang durch den Exhaustor verbundenen Veränderungen, deren Höchstwerte 160 mm W. S. und $1,5^\circ$ betragen. Die entsprechenden Rechnungen

Die Ventilatoren wurden für die Versuche von einem besonderen Drehstrommotor durch einfache Riemenübertragung angetrieben. Um die verschiedenen Umlaufzahlen zu erhalten, wurden Rimscheiben von verschiedenem Durchmesser auf die

IV. Versuchsordnung.

Die Ventilatoren wurden für die Versuche von einem besonderen Drehstrommotor durch einfache Riemenübertragung angetrieben. Um die verschiedenen Umlaufzahlen zu erhalten, wurden Rimscheiben von verschiedenem Durchmesser auf die

Motorwelle aufgesetzt. Mit dieser Anordnung war es möglich, die vom Motor aufgenommene elektrische Energie bis auf 0,1 PS. abzulesen.

Die Exhaustoren saugten frei aus dem Versuchsräum und drückten in eine 5500 mm lange Leitung, die bei den drei größeren Typen 500 mm, bei den beiden kleinsten 300 mm lichte Weite hatte.

Vom Druckstutzen des Exhaustors führte ein kegelförmiges Übergangsstück zu dem Meßrohr (s. Abb. 6).

In der Mitte des Meßrohres war eine mit Gummi gedichtete Verschlußklappe angebracht, durch welche die Tragstange eines Windflügels — Anemometers — hindurchführte; mittels derselben konnte der Flügel in der senkrechten Mittelachse verstellt werden

(Abb. 7). Am Ausströmungsende der Rohrleitung war ein Winkelring angelötet, der einen Falz für die Verschlußschieber trug.

Der Ausströmungsquerschnitt wurde auf drei Weise eingestellt (Abb. 6) :

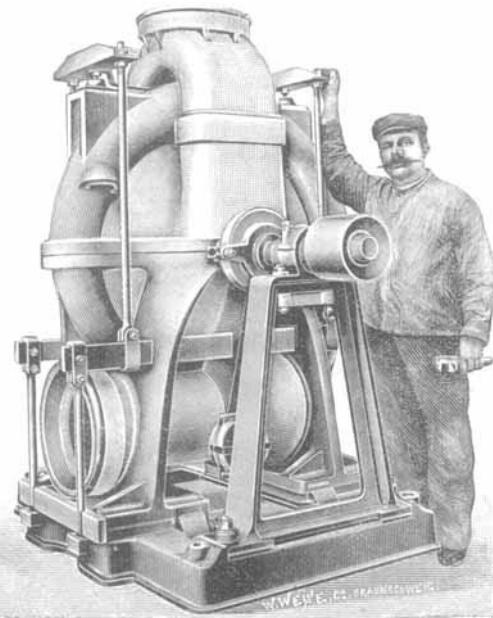


Abb. 5.

c) durch Siebschieber mit einer Anzahl kleiner über den ganzen Querschnitt möglichst gleichmäßig verteilter Löcher.

Aus der Ausströmung trat die Luft in den Raum zurück. Die Abdichtung der Rohre und Schieber wurde mit Modellierton bewirkt, der mit Glycerin angerieben war, ein Verfahren, das sich sehr bewährte.

V. Meßinstrumente und Messungen.

1. Messung der elektrischen Energie.

Zur Messung der Leistung des Antriebmotors diente ein Präzisionswattmesser der Firma Hartmann & Braun.

2. Messung des Kraftbedarfs.

Um aus der Ablesung am Wattmeter die an die Exhaustorwelle abgegebene Leistung bestimmen zu können,

wurde der Motor zunächst mit einem Pronyschen Zaum gebremst.

Zu diesem Zweck trieb der Motor während der Bremsung mittels Riemens ein Vorgelege an.

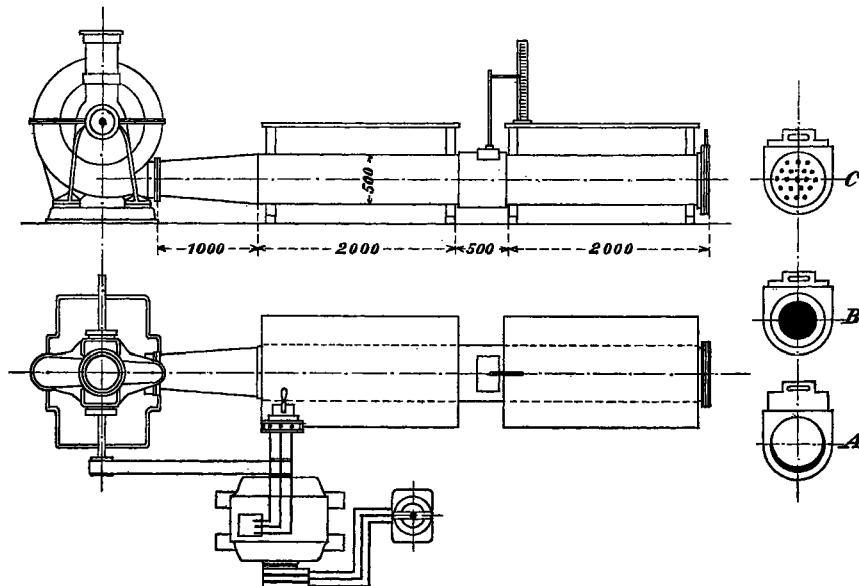


Abb. 6. Versuchsanordnung 1:50.

a) durch einen vollen Schieber, der allmählich in dem Falz nach unten verschoben wurde und also einen mondsichel förmigen Querschnitt freiließ;

b) durch volle Schieber mit einem in der Mitte sitzenden kreisförmigen Loch von dem gewünschten Querschnitt;

Dieses Vorgelege bestand aus der Grundplatte eines Siegfriedexhaustors mit Lagern, Welle und zwei Riemenscheiben, von denen eine die Bremse trug. Die Leistung, welche am Wattmesser abgelesen wurde, umfaßte also den Leerlauf des Motors, den Kraftbedarf des Riementriebes, die Lagerreibung

des Vorgeleges und die Bremsarbeit. Die beiden letzten entsprechen im Betriebe der Nutzleistung des Motors oder dem Kraftbedarf des Ventilators. Um also aus der Bremsung nicht zu günstige Werte herzuleiten, müssen die Bremsarbeiten um den Betrag der Lagerreibung des Vorgeleges vermehrt werden; diese betrug 0,154 PS.

Das Gewicht des Bremshebels war ausgeglichen. In Abbild. 8 ist auf Grund der Messungen die Kurve eingetragen, die den Zusammenhang zwischen abgelesener Energieaufnahme und Nutzleistung angibt, und hieraus ist die Kurve des Wirkungsgrades berechnet.

3. Messung der Windgeschwindigkeit.

Die Windgeschwindigkeit wurde mit einem Windflügel, und zwar einem Fueßschen Flügel-

R. Fu e ß in Steglitz hierfür konstruiert ist (Abb. 9). Auf einer Metalltrommel, die durch ein Uhrwerk gedreht wird, zeichnet ein Schreibstift eine gerade Linie auf. Durch einen am Zählerad des Flügels angebrachten elektrischen Kontakt wird jedesmal, wenn das Flügelrad eine Vorwärtsbewegung der

durch das Rohr strömenden Luft um 100 m angezeigt hat, ein Strom geschlossen. Hierdurch wird ein Magnet erregt, der den Hebel des Schreibstiftes nach unten zieht. Es entsteht also ein senkrechter Strich. Da nun 1 cm Länge des wagerechten Striches eine Minute Umlauf-

zeit der Trommel entspricht, so kann aus der Zahl der senkrechten Striche, die auf 1 cm entfallen, sofort die Windgeschwindigkeit in Metern pro Minute abgelesen werden, wie aus

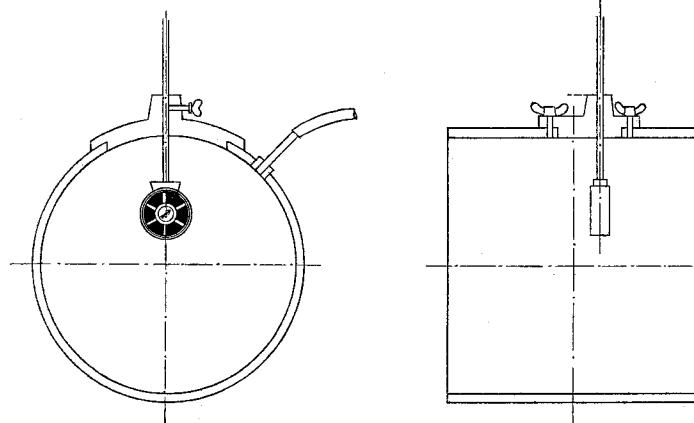
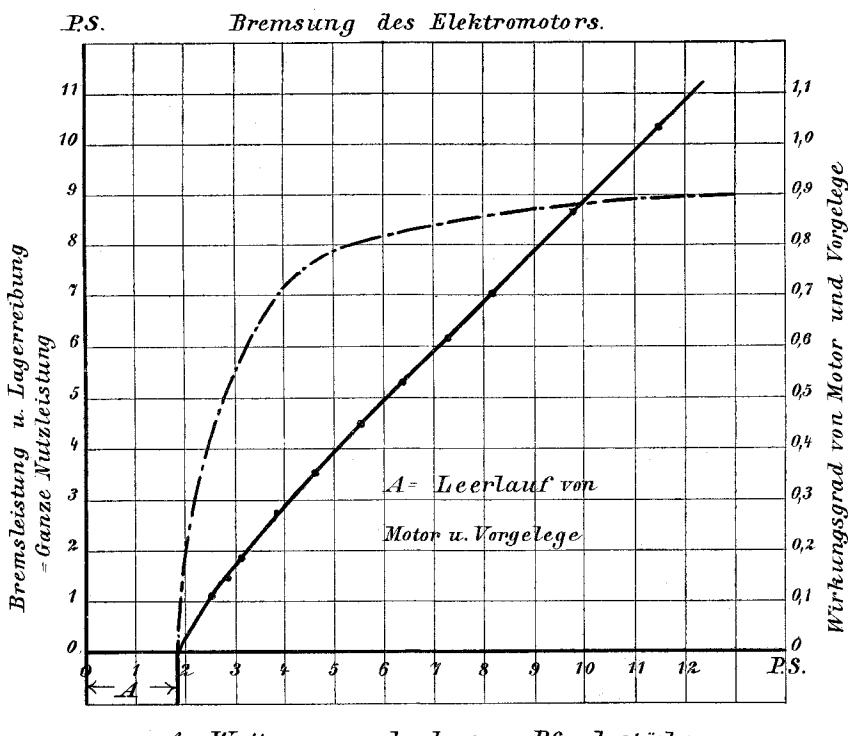


Abb. 7. Anordnung der Meßgeräte. 1:10.



Am Wattmesser abgelesene Pferdestärken

Abb. 8. Bremsung des Elektromotors.

radanemometer gemessen, das für die Versuche besonders geeicht war. Dasselbe konnte in der bereits beschriebenen Weise in der Mittellinie des Rohrquerschnitts verschoben werden.

Die Notierung der Umlaufzahl des Flügels erfolgte mit einem neuen Instrument, das von

der auf Abb. 10 gegebenen Nachbildung eines Meßblattes zu ersehen ist.

Mit dieser Registrieruhr ergab sich eine außerordentlich zuverlässige und bequeme Messung der Windgeschwindigkeiten, da es nur nötig war, die Uhr für jede Messung etwa fünf Minuten laufen zu

lassen, um einen Durchschnittswert aus mindestens 6, bei großen Geschwindigkeiten aus 40 Beobachtungen bilden zu können.

4. Messung des Druckes.

Ferner wurde der Druck, der im Rohre herrschte, gemessen; hierzu war ein Glasrohr mittels eines Gummipropfens in die Rohrwand eingelassen und durch einen Schlauch mit einem geneigt angeordneten Schenkellohr mit Wasserfüllung und Meßskala verbunden.

Um den Einfluß der Strömung auf die Druckmessung zu eliminieren, war das Rohr in seinem unteren Ende auf eine Länge von mehreren Zentimetern mit Watte gefüllt; dabei blieb die Empfindlichkeit bis auf Querschnittsänderungen von 2% gewahrt.

Behufs Schonung der Instrumente und sicherer Ablesungen waren in einem besonderen Raume der Wattmesser, die Registrieruhr und die Schrägskala zur Druckmessung untergebracht, und die erforderlichen Anschlüsse durch elektrische Leitungen, Gasrohre und Gummischläuche bewerkstelligt.

VI. Durchführung der Versuche.

Die Versuche an den Exhaustoren wurden durch eine Anzahl von Vorversuchen eingeleitet, um die Zuverlässigkeit der Messungen und Meßinstrumente eingehend zu prüfen. Die Ergebnisse sind in dem den D. T. S.-Werken eingereichten Berichte im einzelnen angegeben; leider verbietet der zur Verfügung stehende Raum eine ausführ-

liche Wiedergabe. Hier kann nur auf die Messung der Windgeschwindigkeit kurz eingegangen werden.

Es trat hierbei die aus allen Messungen über die Strömung in Rohren bekannte Frage auf, an welcher Stelle die Geschwindigkeit zu messen sei.

Obwohl die Ausströmungsöffnung in verschiedener Weise, nämlich mit vollem Schieber, Loch-

scheibe oder Siebschieber eingestellt wurde, ergab sich übereinstimmend, daß die größte Geschwindigkeit nicht in der Rohrachse, sondern stets darunter auftrat, und zwar, weil die aus dem Exhaustor austretende Luft noch der Zentrifugalkraft unterlag und dadurch an die untere Rohrwand gedrückt wurde.

Durch Drosseln mit dem vollen Schieber konnten überhaupt keine brauchbaren Ergebnisse erzielt werden. Es wurde daher in Verbindung mit Lochscheiben und Siebschiebern in der verschiedensten Weise versucht, die unsymmetrische Verteilung der Geschwindigkeit über den Querschnitt zu beseitigen, in dem z. B. die Rohrachse gehoben oder gesenkt oder nach rechts und links verschoben wurde; auch wurden Prallsiebe in den Rohrquerschnitt vor dem Meßinstrument eingebaut, um etwaige Schraubenbewegungen des Luftstromes

zu verhindern. Unter diesen Umständen blieb nichts übrig, als für alle Versuchsreihen die gemessenen Geschwindigkeiten an der Meßstelle im Rohrquerschnitt aufzutragen, die Zonen des Querschnitts, in denen sie wirksam sind, wenigstens schätzungsweise einzutragen, und hieraus die Mittelwerte der Geschwindigkeit für den ganzen Querschnitt zu berechnen.

In Abb. 11 sind die gemessenen Geschwindigkeiten in die Rohrquerschnitte eingetragen, die angenommenen Geschwindigkeitszonen eingezeichnet und auf den Kurven der einzelnen Versuchsreihen die für den einzelnen Versuch gültige mittlere Geschwindigkeit durch einen Kreis bezeich-

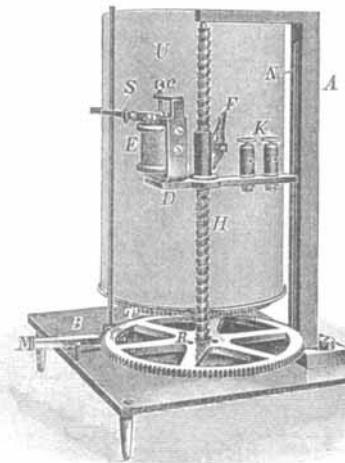


Abb. 9. Registrapparat (Chronograph).

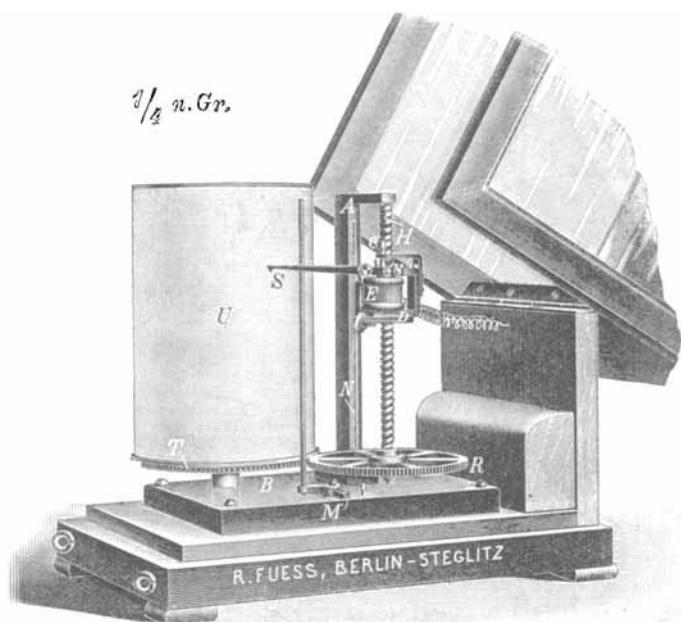


Abb. 10.

net. Dieser Kreis gibt nun die Stelle an, wo das Anemometer für die betreffende Geschwindigkeit anzubringen ist, um tatsächlich die mittlere Geschwindigkeit für den ganzen Querschnitt zu messen. Wo zwei Kreise eingezeichnet sind, besagt dies, daß zwischen ihnen das Anemometer ohne wesentlichen Fehler verschoben

werden kann; natürlich sind diese Ermittlungen nur für die vorliegende Versuchsanordnung zutreffend und haben keine allgemeine Gültigkeit. Daß die unsymmetrische Verteilung der Geschwin-

Nunmehr wurde zu dem Hauptversuch geschritten, und zwar wurde jeder Exhauster bei drei verschiedenen Umdrehungszahlen allmählich so abgedrosselt, daß von freier Ausströmung be-

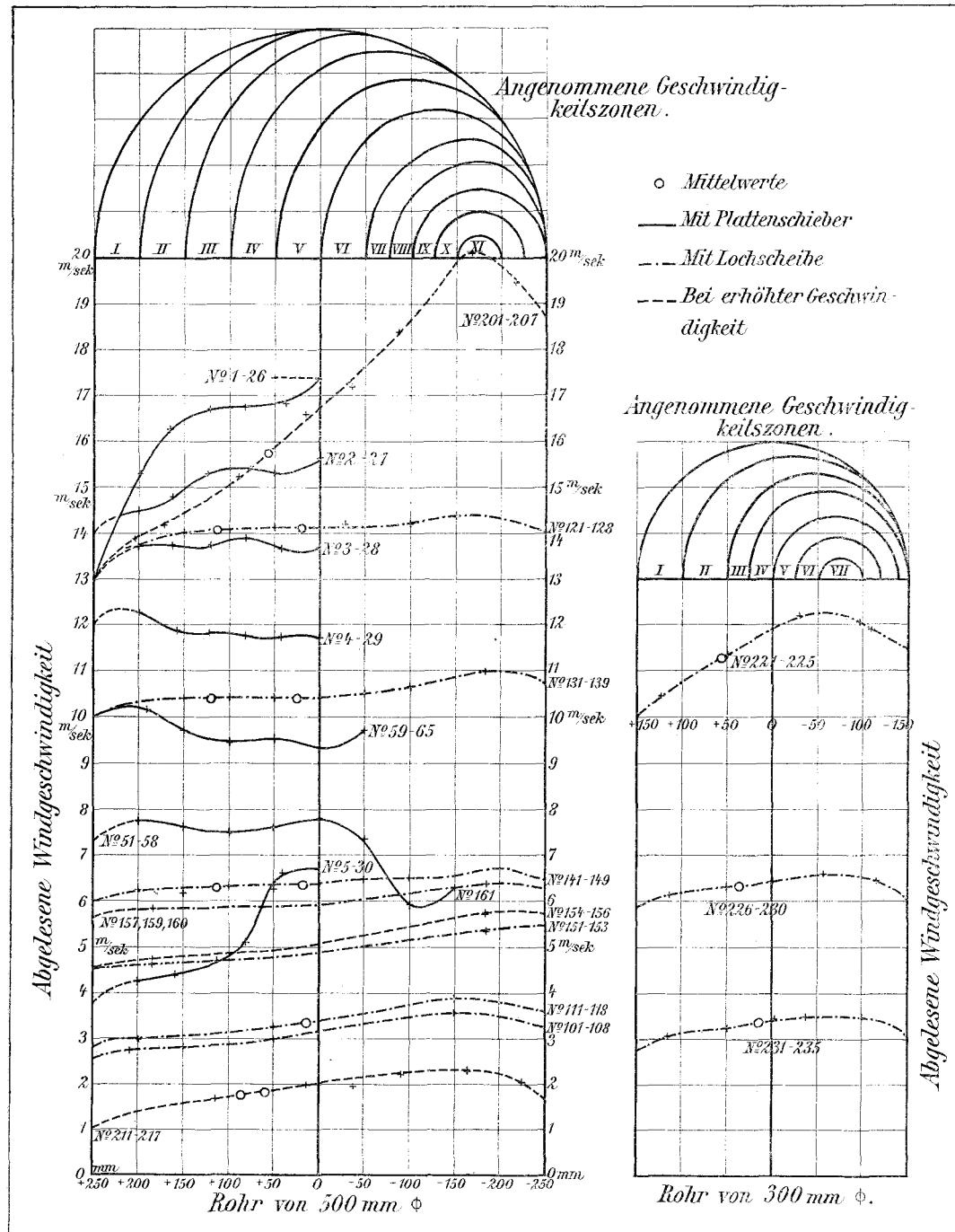


Abb. 11. Verteilung der Geschwindigkeit über den Rohrquerschnitt.

digkeit ihren Grund lediglich in dem erwähnten Einfluß des Flügelrades hat, geht aus der obersten Versuchsreihe hervor, die mit dem Goliathexhauster bei erhöhter Umlaufzahl aufgenommen wurde und deshalb die Unsymmetrie besonders stark aufweist.

ginnend, Druckstufen von etwa 20—25 mm Wassersäule hergestellt wurden. Für jeden solchen Druck wurde die Umdrehungszahl und der Kraftbedarf abgelesen, der Mündungsquerschnitt notiert und ferner, um über die Temperaturverhältnisse Sicherheit zu gewinnen, die Temperatur im Raume, im

Saugstutzen und im Druckrohr gemessen. Hierbei ergaben sich keine Unterschiede von mehr als 2°. Ein etwaiger geringer Unterdruck im Saugrohr wurde zu den schädlichen Widerständen der Maschine gerechnet und nicht in Ansatz gebracht.

Bei diesen Messungen lief die Registriertrommel für die Anemometerablesungen stets mindestens fünf Minuten, bei den geringeren Geschwindigkeiten aber mindestens so lange, bis ein Weg des Luftstroms von 600 m vorlag. Die Ablesungen stellen daher durchweg das Mittel aus mindestens fünf einminütlichen Ablesungen dar.

VII. Auswertung der Messungen.

1. Berechnung der Windmengen.

Zunächst wurde aus den Messungen mit dem Windflügel die sekundliche Windmenge als Produkt aus dem Rohrquerschnitt (abzüglich der Verengung durch das Anemometer) und der Windgeschwindigkeit berechnet. Dieselbe ergibt sich zu:

$$V_0 \text{ cbm/sec} = F_0 \text{ qm} \cdot w_0 \text{ m/sec.}$$

Hierin bedeutet:

w_0 Geschwindigkeit in m/sec.

F_0 Querschnitt des Meßrohres,

F_1 Querschnitt der Ausströmungsöffnung, beide in qm,

g die Fallbeschleunigung,

γ das Gewicht von 1 cbm Luft,

h die Druckhöhe in mm-Wassersäule,

„einen Koeffizienten, der für die kleinsten Querschnitte zu 0,59, für die größten verwendeten zu 0,635 eingesetzt wurde. Hieraus wurde für die verschiedensten Verhältnisse

$$\frac{\mu}{1 - \frac{F_1^2}{F_0^2}}$$

der Ausflußkoeffizient f berechnet.

Die Ergebnisse sind auf Abb. 12 eingetragen. Um eine weitere Sicherheit gegen Überschätzung erhalten, wurde für

$$\sqrt{2} g$$

$$\gamma$$

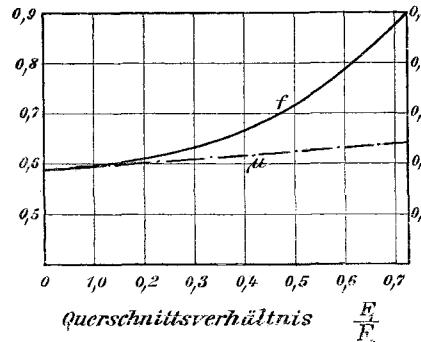


Abb. 12. Koeffizient f in der Ausflußformel

$$V = \frac{\mu}{\sqrt{1 - \frac{F_1^2}{F_0^2}}} \cdot \sqrt{2} g \cdot F_1 \cdot \sqrt{h}$$

$$V \text{ cbm/sec} = f \cdot 4 F_1 \text{ qm} \cdot \sqrt{h} \text{ mm W.S.}$$

der Windmengen zu

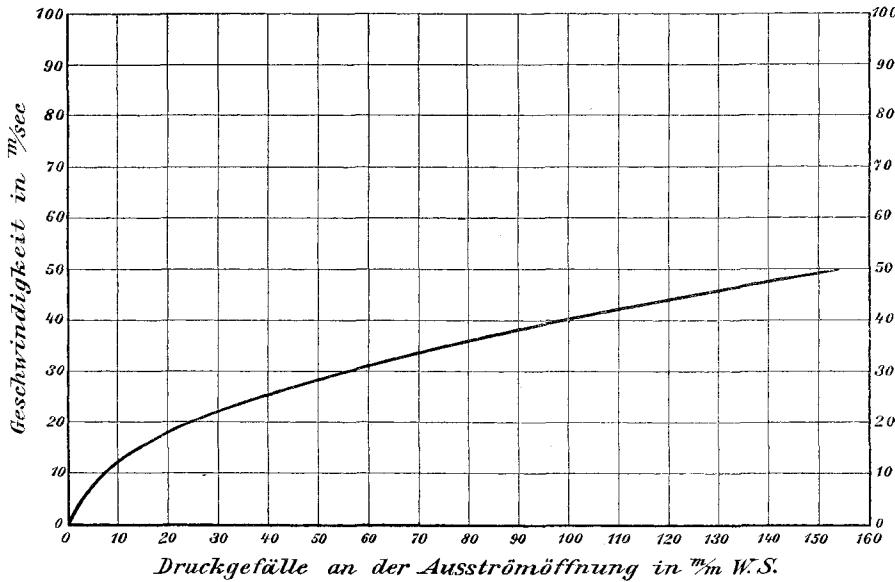


Abb. 13.

$$w = \sqrt{2 g \cdot \frac{h}{\gamma}} = \infty 4 \cdot \sqrt{h} ; \text{ für } \gamma = 1,2 \text{ kg/cbm}$$

Ferner wurde die Windmenge auf Grund der im Rohre beobachteten Drücke ermittelt, und zwar auf Grund der Murgue'schen Formel in der folgenden Fassung:

$$w_1 = \frac{\mu}{1 - \frac{F_1^2}{F_0^2}} \sqrt{\frac{2 g}{\gamma} \cdot \sqrt{h}}$$

der Zahlenwert 4 statt 4,044 verwendet. Hiermit wurden dann die Werte

$$w = \frac{\sqrt{2 g}}{\gamma} \cdot \sqrt{h}$$

für die verschiedenen Werte h mm-Wassersäule berechnet und in Abb. 13 aufgetragen.

Zur Berechnung der Windmengen ist also nur

nötig, zu dem beobachteten Druck die zugehörige Geschwindigkeit w aus Abb. 13 zu entnehmen, für die verwendete Ausströmungsöffnung das Verhältnis ihrer Weite zur Rohrweite $\frac{F_1}{F_0}$ zu bilden, den zugehörigen Austrittskoeffizienten f aus Abbild. 13 abzulesen und zu multiplizieren:

$$V_1 = w_1 f_1 F_1.$$

Beim Vergleich der so berechneten Werte mit den

unerhebliche Fehlergrenzen ergeben hat, das Anemometer neu geeicht war, und die Notierungen der Registrieruhr eine einwandfreie Kontrolle gestatten, so kann die Erklärung nicht in Mängeln der Messung, sondern nur in den Eigentümlichkeiten der Anemometermessung an sich gesucht werden.

Zunächst ist festzustellen, daß die Anemometer auf einem Göpel geeicht werden. Sie werden auf einem langen, drehbaren Arm befestigt und mit diesem in Umdrehung versetzt. Es bewegt sich

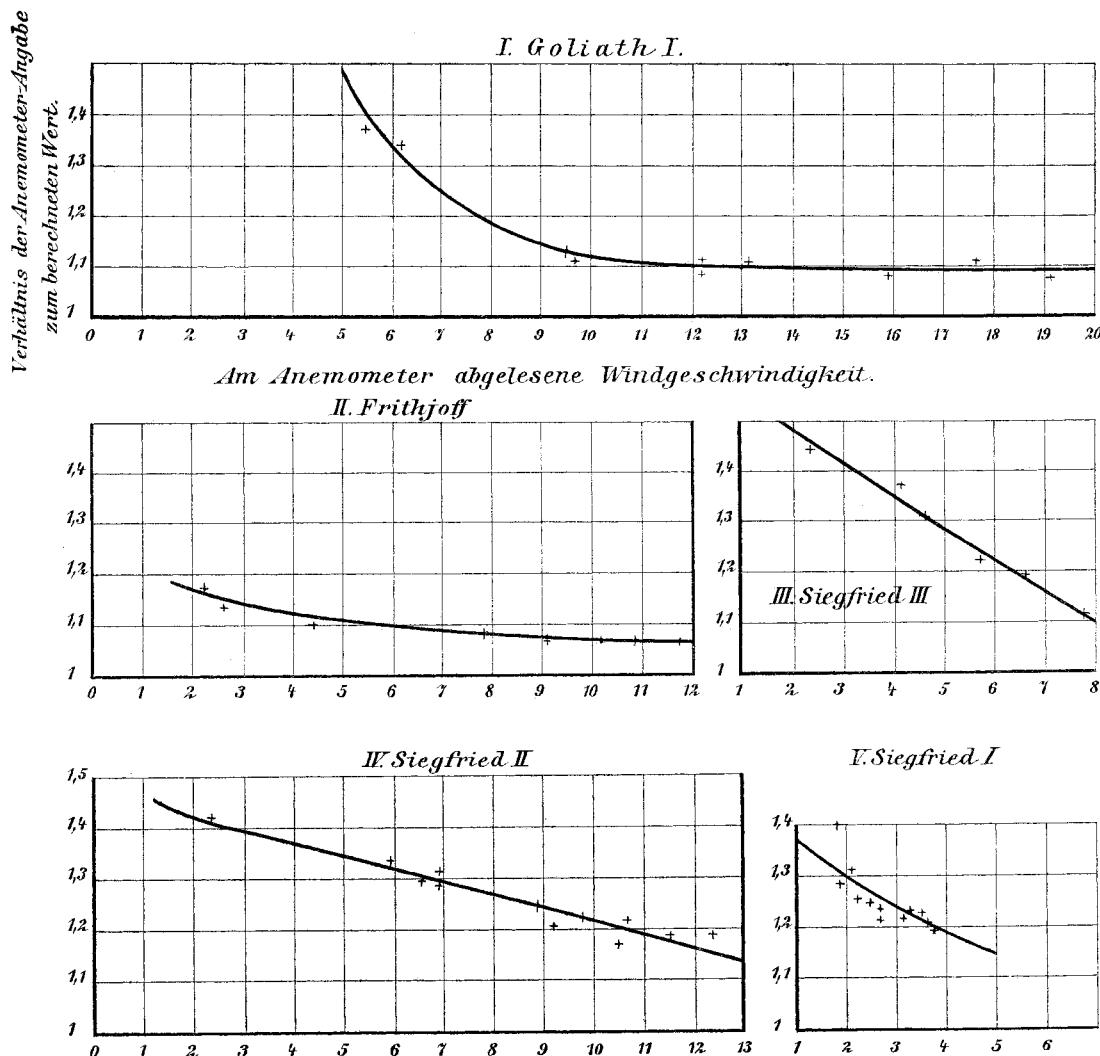


Abb. 14. Vergleich der nach der Göpelaichung berichtigten Anemometerangaben mit den aus dem Druckgefälle berechneten Windgeschwindigkeiten.

aus den Anemometerablesungen erhaltenen ergeben sich nun Unterschiede bis zu 40% für die kleinsten Öffnungen und größten Drücke, bis zu 10% für die größten Öffnungen und kleinsten Drücke. Da die größten Abweichungen gerade in den Meßgebieten auftreten, für die einwandsfreie Ergebnisse aus der Druckmessung vorliegen, so ergibt sich, daß die Anemometermessungen nur unter Berücksichtigung von Korrekturen zur Bestimmung der tatsächlich geförderten Luftmenge verwendet werden dürfen. Da die Ablesung der Anemometerangaben nach den vorangegangenen Versuchen nur ganz

also das Anemometer in der ruhenden, allseitig freien Luft. Bei den Versuchen hingegen strömt die Luft allseitig vom Rohr begrenzt gegen das ruhende Anemometer. Hierin allein liegt eine Quelle erheblicher Abweichung zwischen Eichungs- und Messungsergebnissen. Daß dieselbe bis zu 20% betragen kann, hat u. a. Althans durch Messungen mit einem großen Gasometer fraglos nachgewiesen²⁾. Rechnet man hinzu, daß infolge

²⁾ Althans: Physikalische Untersuchungen an einem Gasometer.

der vorerwähnten Einflüsse des Flügelrades auf die Windbewegung im Rohre erhebliche Störungen

Bemerkenswert ist in dieser Hinsicht auch die Erscheinung, daß die Abweichungen bei dem Frithjofexhaustor weit geringer sind, als bei den anderen Typen; dieser Exhauster weist aber viel geringere Geschwindigkeiten im Druckstutzen auf, als z. B. der im Durchmesser des Flügelrades gleich große, aber schmäler gebaute Siegfried III, weil er bei gleichem Durchmesser des Rades eine erhebliche größere Austrittsöffnung besitzt.

Ferner ist zu bemerken, daß die Fehler für alle Typen am geringsten sind für die größten Windgeschwindigkeiten im Rohr. Man muß also annehmen, daß trotz der sehr langen zwischen Druckstutzen und Meßrohr eingeschalteten Übergangsstücke die aus dem Druckstutzen austretende Luft keilartig in das Meßrohr hineinprallt und hier Wirbelungen hervorruft. Dieser Einfluß muß aber in Übereinstimmung mit den Beobachtungen um so stärker hervortreten, je kleiner die Geschwindigkeit im Rohr gegenüber der im Druckstutzen ist. Da die Prüfungen der abzuliefernden Exhauster meistens bei freiem Luftein- und -austritt erfolgen, so ist daher hier die Windgeschwindigkeit im Rohr am größten, der Fehler also am kleinsten.

Nach der Sachlage blieb nun nichts anderes übrig, als die Abweichungen für die einzelnen Typen in Abhängigkeit von der an den Anemometerablesungen beobachteten Geschwindigkeiten aufzutragen, um mit den hieraus erhaltenen Korrektionszahlen auch die Wind-

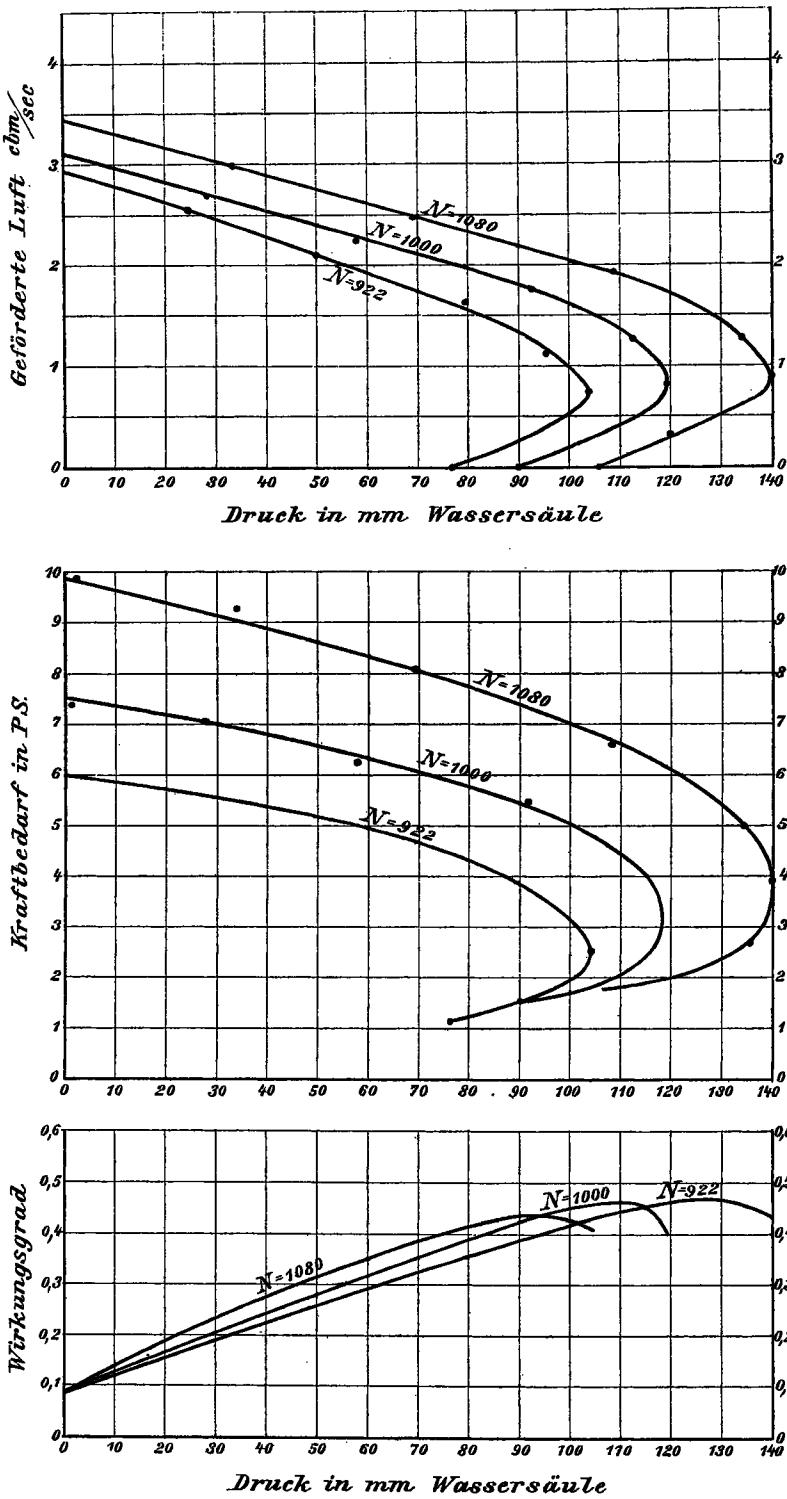


Abb. 15. Goliath.

der gleichmäßigen Strömung vorlagen, die durch die Messungen an den verschiedenen Stellen des Querschnitts nachgewiesen sind, so dürften die Abweichungen hinreichend erklärt sein.

mengen für freie oder annähernd freie Ausströmung zu berechnen, für die naturgemäß eine Berechnung aus dem abgelesenen Druck unmöglich ist (Abbildung 14).

Die auf diese Weise erhaltenen Geschwindigkeiten sind nun für die verschiedenen Typen, Drucke und Umdrehungszahlen als Kurven aufgetragen (Abb. 13—19).

2. Berechnung des Kraftbedarfs.

Die Ermittlung des Kraftbedarfs an den bei der Messung abgelesenen elektrischen Leistungen konnte unmittelbar mit Hilfe der Bremskurve vor sich gehen. Nur für die beiden kleinsten Typen ergaben sich zu geringe Werte für genaue Ablesungen. Beim Siegfried II war es zwar noch möglich, eine Kurve des Kraftbedarfs für die mittlere Geschwindigkeit festzustellen, hingegen deckten sich die Kurven für größere und geringere Geschwindigkeiten mit der ersten innerhalb der Ablesungsfehler. Der Exhauster Siegfried I endlich wies einen so geringen Kraftbedarf auf, daß die elektrische Leistung weniger betrug, als die bei der Bremsung für den Motor und das schwerere Vorgelege bei Leerlauf erhaltenen Werte. Es ließ sich also hierfür der Kraftbedarf gar nicht mehr feststellen.

2. Berechnung der Nutzleistung und des Wirkungsgrades.

Es mußte nun festgestellt werden, welche Leistung erforderlich ist, um eine bestimmte Luftmenge bei gegebenem Überdruck durch ein Rohr von gegebenem

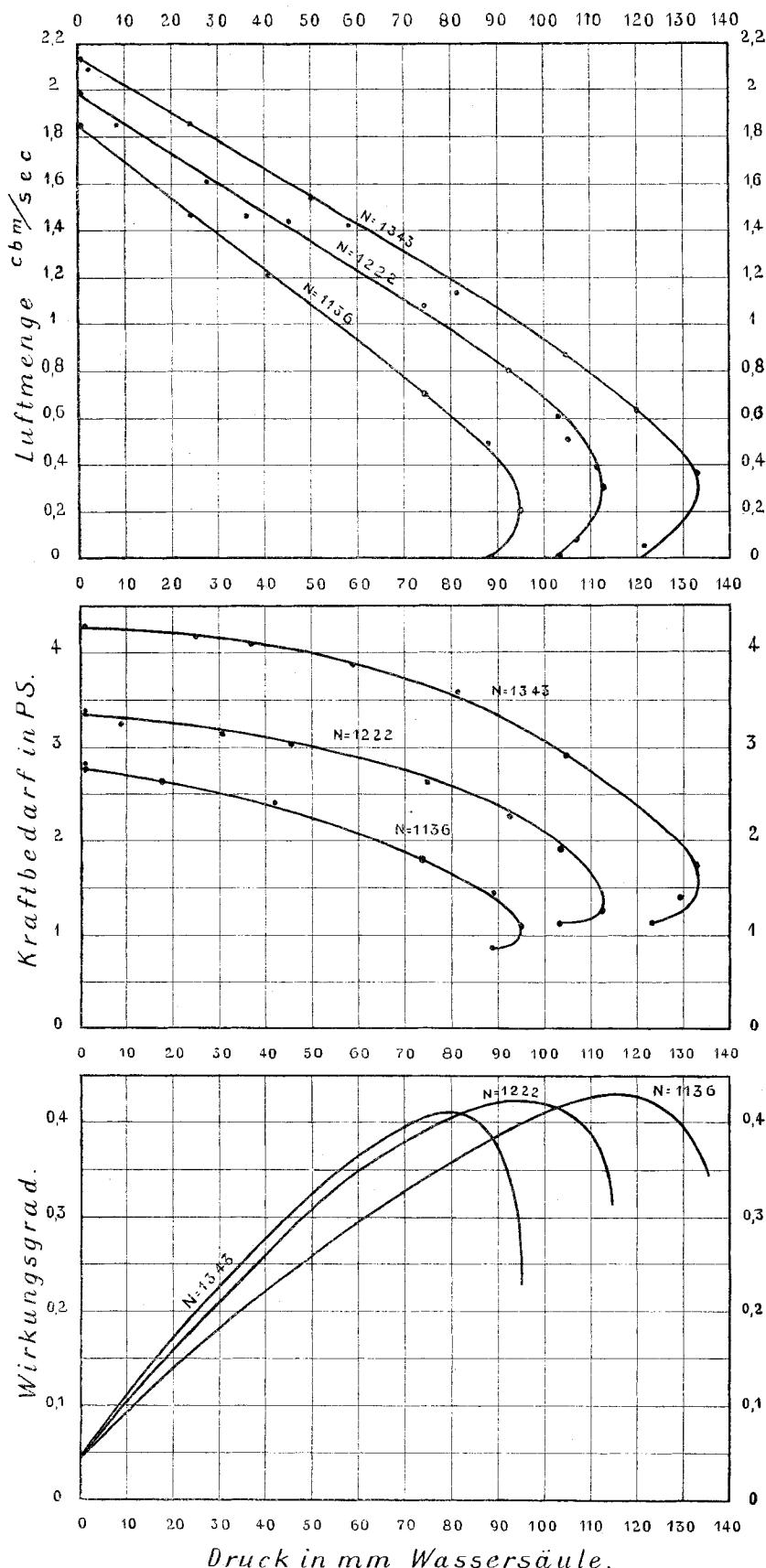


Abb. 16. Frithjof.

Querschnitt zu fördern. Diese sekundliche Arbeit setzt sich aus drei Beträgen zusammen:

a) der Kompressionsarbeit L_c , d. h. der Arbeit, die erforderlich ist, um die Luft auf den herrschenden Überdruck zu bringen;

b) der Beschleunigungsarbeit, d. h. der Arbeit,

Es handelt sich nun darum, die einzelnen Arbeitsbeträge durch solche Größen auszudrücken, die bei den Versuchen gemessen werden können.

a) Berechnung der Kompressionsarbeit.

Der Zweck des Exhaustors ist der, die Luft unter einen bestimmten Druck zu setzen; die hierdurch bedingte Arbeit ist daher als Nutzleistung aufzufassen; gleichzeitig mit der Kompression tritt aber eine Erwärmung der Luft ein, die ebenfalls Arbeit erfordert, aber nicht beabsichtigt ist. Dieser zweite Arbeitsbetrag wird also als Unvollkommenheit dem Wirkungsgrad der Maschine zur Last fallen müssen. Das heißt, als Nutzleistung ist nur der durch die Kompression bei gleichbleibender Temperatur bedingte Arbeitsaufwand in Rechnung zu setzen.

Nun ist die der isothermischen Kompression entsprechende Arbeit in Meterkilogrammen:

$$L = mkg P_1 V_1 \ln \frac{p^1}{p^2},$$

wobei P_1 den Anfangsdruck in kg/qm, V_1 das bei diesem Druck angesaugte Volumen, p_1 den Anfangsdruck, p_2 den Enddruck, beide in kg/qcm, bedeuten.

Hierach ist mit Hilfe der bekannten thermodynamischen Gesetze die Kurve Abb. 20 entworfen, die den Berechnungen zugrunde gelegt ist.

Um die Kompressionsarbeit für V cbm Luft gegen einen Druck von h mm Wassersäule zu berechnen, hat man also nur die diesem Druck entsprechende Kompressionsarbeit für 1 cbm abzulesen und mit V zu multiplizieren. Sind in der Sekunde V cbm zu fördern, so erhält man die Arbeit pro Sekunde oder die Leistung. Wenn es sich übrigens, wie im vorliegenden Falle, nur um sehr geringe Drücke handelt, so kann man die Kompressionsarbeit angenähert auch einfacher finden.

Nimmt man an, daß sich das spezifische Volumen durch die geringe Kompression nicht ändert, so ist nur ein Arbeitsbetrag nötig, um die zu födernde Menge gegen den im Rohr herrschenden Druck durch dieses fortzuschieben; derselbe ist bekanntlich gegeben durch den Ausdruck:

$$L_c = V \text{ cbm/Sek. } h \text{ mm Wassersäule.}$$

Bei den vorliegenden Ermittelungen ist in-

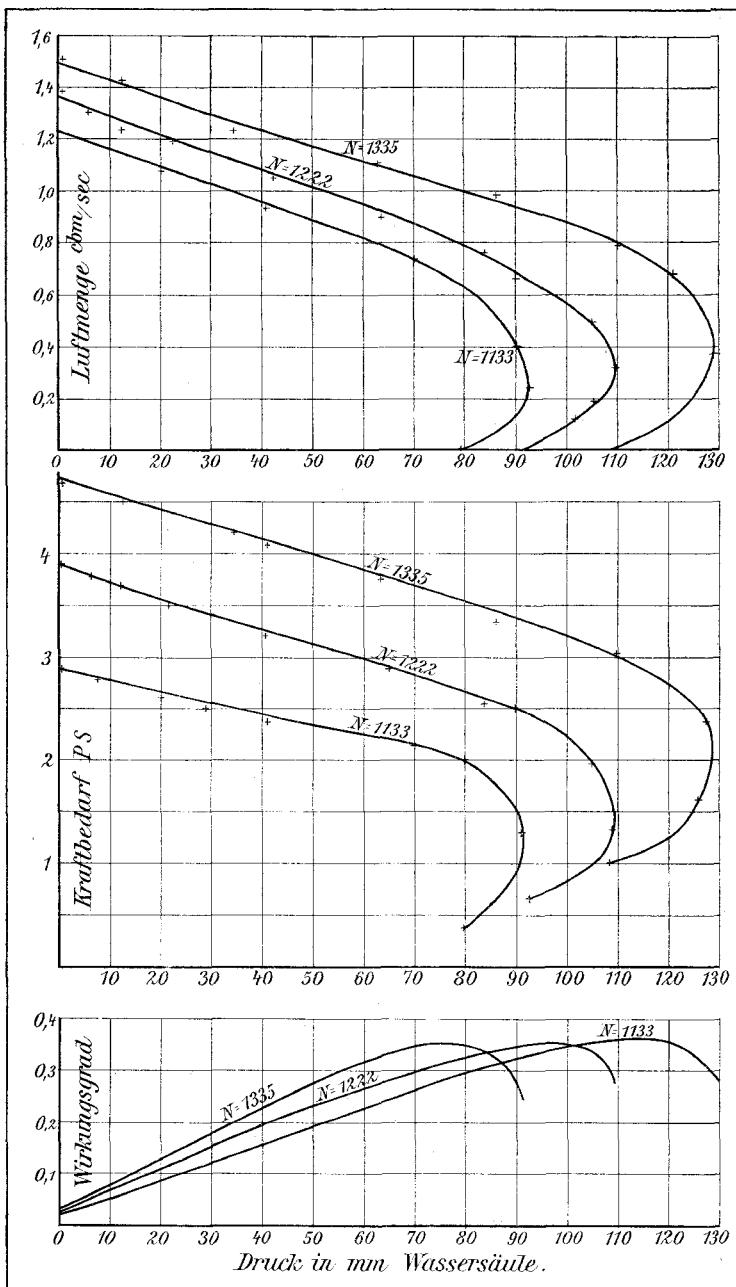


Abb. 17. Siegfried III.

die erforderlich ist, um der Masse der durch das Rohr strömenden Luft die im Rohr herrschende Geschwindigkeit zu erteilen L_w .

c) der zur Überwindung aller Widerstände erforderlichen Arbeit L_r .

Es ergibt sich also als Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{L_c + L_w}{L_c + L_w + L_r} = \frac{L_n}{L} = \frac{\text{Nutzarbeit}}{\text{Kraftbedarf}}.$$

dessen der genauere Betrag in Ansatz gebracht.

b) Berechnung der Beschleunigungsarbeit:

Um einer Luftmasse $m = \frac{G}{g}$ kg
 $m = \frac{G}{g \text{ m/sec}^2}$

eine Geschwindigkeit w zu erteilen, ist eine Arbeit erforderlich $= \frac{m w^2}{2}$.

Nun ist gezeigt worden, daß die Geschwindigkeit w , an verschiedenen Stellen des Rohrquerschnitts gemessen, verschiedene Werte besitzt. Man würde also zunächst einen Fehler begehen, wollte man allgemein ohne nähere Untersuchung die Energiemenge, die pro Sekunde aufzuwenden ist, auf Grund der mittleren Geschwindigkeit w_0 berechnen.

Indessen ergibt eine Nachrechnung an Hand der für die einzelnen Punkte des Rohrquerschnittes festgestellten Geschwindigkeiten, daß die Abweichungen, soweit sie zugunsten des Exhaustors zählen, weniger als 1% betragen.

Danach ist die Leistung, die erforderlich ist, um G kg in der Sekunde auf die mittlere Geschwindigkeit w_0 zu bringen, berechnet zu:

$$L_w = \frac{G}{g} \frac{w^2}{2}.$$

c) Die Widerstandsarbeits:

Die schädlichen Widerstände sind sämtlich in dem gemessenen Kraftbedarf enthalten, so daß also, sobald die Kompressionsarbeit und die Beschleunigungsarbeit berechnet sind, der Wirkungsgrad sofort erhalten wird, wenn man die Summe der Nutzarbeiten durch die Summe des Kraftbedarfs dividiert.

Es mag noch hervorgehoben werden, daß die Beschleunigungsarbeit nur bei großen Geschwindigkeiten und kleinen Drucken einen Einfluß auf die Höhe des Wirkungsgrades erlangt. Bei größeren Drucken verschwindet sie völlig gegenüber der Kompressionsarbeit. Da nun die besten Wirkungsgrade aller Exhaustoren stets bei diesen höheren Drucken liegen, so ist der unmittelbare Vergleich der bei den vorliegenden Messungen ermittelten genauerer Wirkungsgrade mit solchen möglich, die ohne Berücksichtigung der Beschleunigungsarbeit erhalten wurden.

VIII. Folgerungen aus den Messungen.

Die zusammengehörigen Werte von geförderten Luftmenge, Kraftbedarf und Wirkungsgrad sind nun in Abhängigkeit von den Drucken auf Abbildungen 15—19 aufgetragen.

Aus den gewonnenen Kurven ergibt sich nun hinsichtlich der einzelnen Größen das Folgende:

1. Veränderlichkeit der geförderten Menge mit dem Druck. Die Fördermenge fällt mit steigendem Druck anfangs annähernd diesem proportional, dann rascher, bis ein Maximum des Druckes erreicht wird. Wird hierauf die Drosselung des Ausströmungsquerschnittes noch weiter getrieben, so fallen Druck und Fördermenge sehr rasch, bis zu einem Endwert des ersten, der bei ganz geschlossener Ausströmung erreicht wird und also dem sogen.

„Gleichgewichtsgang“ der Zentrifugalpumpen entspricht. Diese Erscheinung trat so überzeugend bei allen Typen und Geschwindigkeiten auf, ist übrigens auch aus den Gesetzen vom Stoß bewegter Massen so einleuchtend zu erklären, daß man an-

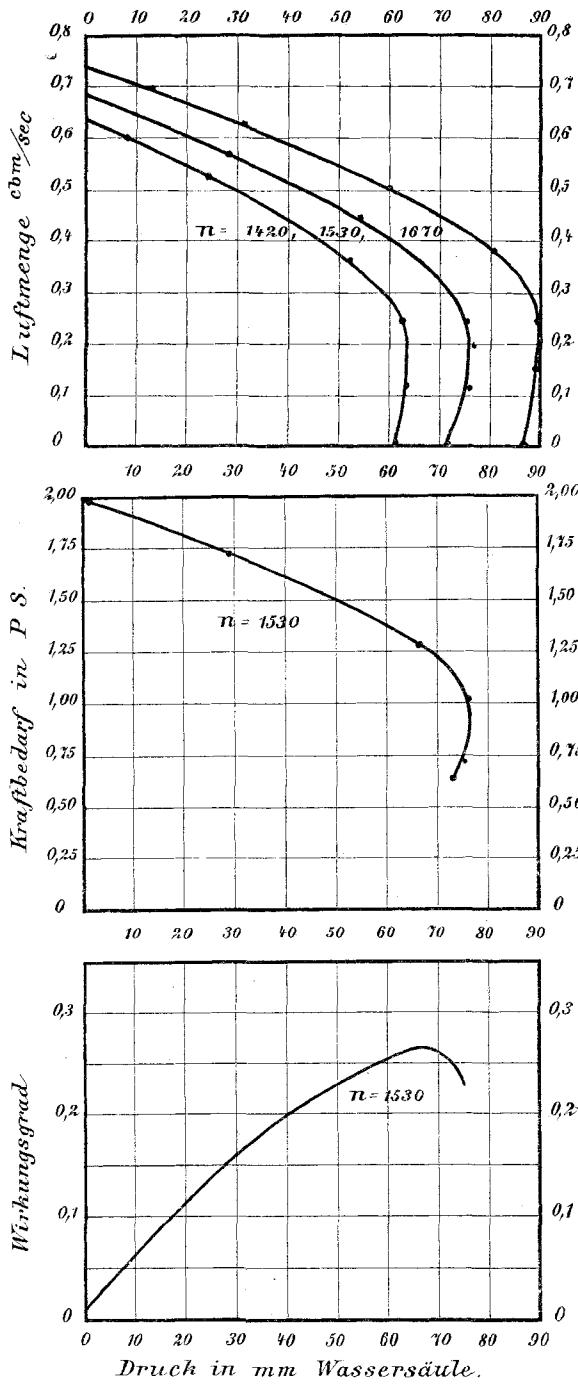


Abb. 18. Siegfried II.

nehmen darf, daß Messungen, die dieselbe nicht erkennen lassen, innerhalb dieser Zone nicht mit genügender Genauigkeit angestellt sind. Es darf also als festgestellt gelten, daß das Maximum des Druckes nicht bei der Fördermenge Null auftritt. Berechnet man noch für das Maximum des Druckes

den von R a t e a u eingeführten und von den Untersuchungen an Zentrifugalpumpen bekannten Wert, der den Zusammenhang zwischen größter Druckhöhe und Umfangsgeschwindigkeit darstellt, in der Form:

$$h = u^2 \cdot \Psi,$$

so erhält man für Ψ die folgenden Werte:

Goliath . .	$n = 1075$	$h = 139$	$\Psi = 0,0688$
	= 1000	= 121	= 0,0686
	= 915	= 105	= 0,0726
Frithjof . .	$n = 1335$	$h = 133,5$	$\Psi = 0,0760$
	= 1220	= 113,0	= 0,0782
	= 1140	= 95,5	= 0,0744
Siegfried III	$n = 1340$	$h = 129$	$\Psi = 0,0728$
	= 1225	= 108	= 0,0731
	= 1130	= 92	= 0,0732

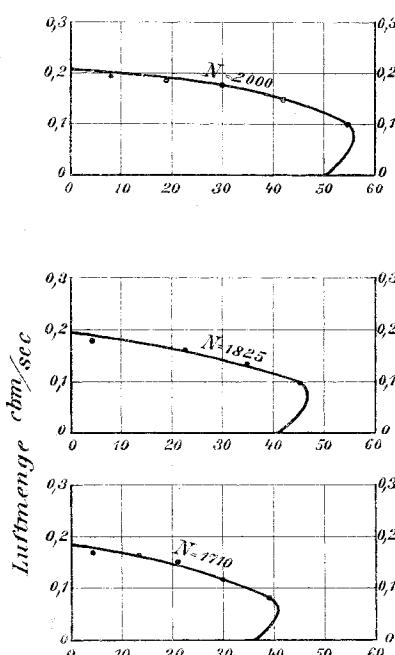


Abb. 19. Siegfried I.

Siegfried II	$n = 1670$	$h = 90$	$\Psi = 0,0738$
	= 1530	= 76	= 0,0743
	= 1425	= 67	= 0,0755
Siegfried I	$n = 2000$	$h = 57$	$\Psi = 0,0833$
	= 1830	= 47,5	= 0,0828
	= 1720	= 41,5	= 0,0821

Die bei freiem Austritt gefundenen Luftmengen ergeben bei mehreren Typen Geschwindigkeiten im Druckstutzen, die größer sind als die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades. Dies ist von L i n d n e r³⁾ allgemein für unmöglich erklärt, augenscheinlich mit Unrecht. Man darf nicht übersehen, daß die Luftmengen beim Austritt aus dem Flügelrad je nach dessen Gestalt Energie bereits in den beiden erwähnten Formen, Druck und lebendige Kraft enthalten können. In dem sich konisch erweiternden Druckstutzen findet nun ein Umsatz der Energie des Druckes in Geschwindigkeit statt, so daß aus der Berechnung der Umfangsgeschwindigkeit des Flügelrades allein gar keine Schlüsse

auf die Geschwindigkeit im Druckstutzen möglich sind.

2. Veränderlichkeit des Kraftbedarfs. Der Kraftbedarf weist einen der Kurve der geförderten Luftmenge durchaus ähnlichen Verlauf auf. Er ist am größten bei freier Ausströmung, am kleinsten bei geschlossener Ausströmung.

3. Veränderlichkeit der Nutzleistung und des Wirkungsgrades. Die Nutzleistung ist bei freier Ausströmung gering, da sie nur in der lebendigen Kraft der bewegten Massen erscheint. Sie wächst dann anfangs, da der Abnahme an geförderter Luftmenge ein rascheres Wachsen der Kompressionsarbeit gegenübersteht. Alsdann fällt sie wieder mit der schneller abnehmenden Luftmenge.

Hieraus ergibt sich, daß der Wirkungsgrad kurz, vordem der höchste Druck erreicht wird, ein Maximum aufweist. Die Wirkungsgrade wurden nur bis zum Maximum des Druckes festgestellt, da der alsdann folgende Teil der Kurve für den Betrieb keine praktische Bedeutung besitzt.

4. Vergleich der Messungen am Exhaustor Siegfried III mit den von Prof. Lindner festgestellten Ergebnissen. Prof. Lindner hat an einem Siegfriedexhaustor Messungen veranstaltet, deren Ergebnisse in dieser Zeitschrift⁴⁾ veröffentlicht sind. Dieselben sind an sich so außerordentlich ungünstig und weichen dabei von den vorliegenden Ergebnissen so stark ab, daß ein Vergleich unerlässlich erscheint.

Auf Abb. 21 sind die von Lindner gegebenen mit den bei den vorliegenden Versuchen gefundenen Werten in der allgemein üblichen und auch hier durchweg verwendeten Darstellungsweise einander gegenübergestellt.

Es wurde eingetragen:

1. die von Lindner beobachteten Werte von Luftmenge und Kraftbedarf in Abhängigkeit von den Drucken, und zwar für die Umlaufszahl von 1112 und 1445 im Mittel.

2. die hieraus „gesetzmäßig berechneten“ entsprechenden Werte für 1200 und 1500 Umläufe.

3. die bei den vorliegenden Messungen beobachteten entsprechenden Größen für die Umlaufszahlen von 1133, 1222 und 1333 im Mittel.

Bei dem Vergleich fällt zunächst der außerordentlich geringe Kraftbedarf des Siegfriedexhaustors bei den Lindner'schen Messungen auf; derselbe ist z. B. bei 55 mm Druck und 1445 Umläufen mit 4,95 PS. nur ebenso groß, als bei dem gleichen Druck und 1333 Umläufen bei den vorliegenden Versuchen. Bei der niederen Umlaufzahl von 1112 im Mittel fällt es einigermaßen schwer, durch die Lindner'schen Zahlenwerte einen stetigen Linienzug zu legen. Immerhin mag man etwa bei 30 mm Druck dem Lindner'schen Werte von 2,25 den Wert von 2,65 der vorliegenden Versuche gegenüberstellen. Daraus ergibt sich ohne weiteres, daß die Lindner'schen Messungen entsprechend dem zu niedrigen Kraftbedarf auch zu niedrige Windmengen aufweisen mußten.

Die von Lindner gemessenen Windmengen liegen aber auch durchweg weit unter den aus den vorliegenden Versuchen festge-

³⁾ Diese Z. 16, 169 (1903).

⁴⁾ a. a. O.

seltenen Werten. Zum Vergleich eignen sich besonders die bei höheren Drücken erhaltenen Werte, da hier auch nicht der mindeste Zweifel über die Einstimmigkeit der beiderseits angewendeten Meßmethoden herrschen kann.

Hierbei steht nun einander gegenüber:

a) Lindner'sche Versuche:

$$\begin{aligned} n &= 1445 \\ h &= 90 \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} V &= 0,53 \text{ cbm} \\ \text{Sek.} & \end{aligned} \right.$$

und Windmenge angibt, stets den höchsten Druck bei der Fördermenge Null aufweist, was nach den Ausführungen auf S. 22 und 23 nicht den tatsächlichen Verhältnissen entspricht.

Hiermit steht außer allem Zweifel, daß die Lindner'schen Werte kein zutreffendes Bild von den normalen Leistungen der Siegfriedexhaustoren geben. Da man die Zuverlässigkeit der Lindner'schen Beobachtungen als unanfechtbar voraussetzen hat, so ergibt sich als einzige Erklärung für

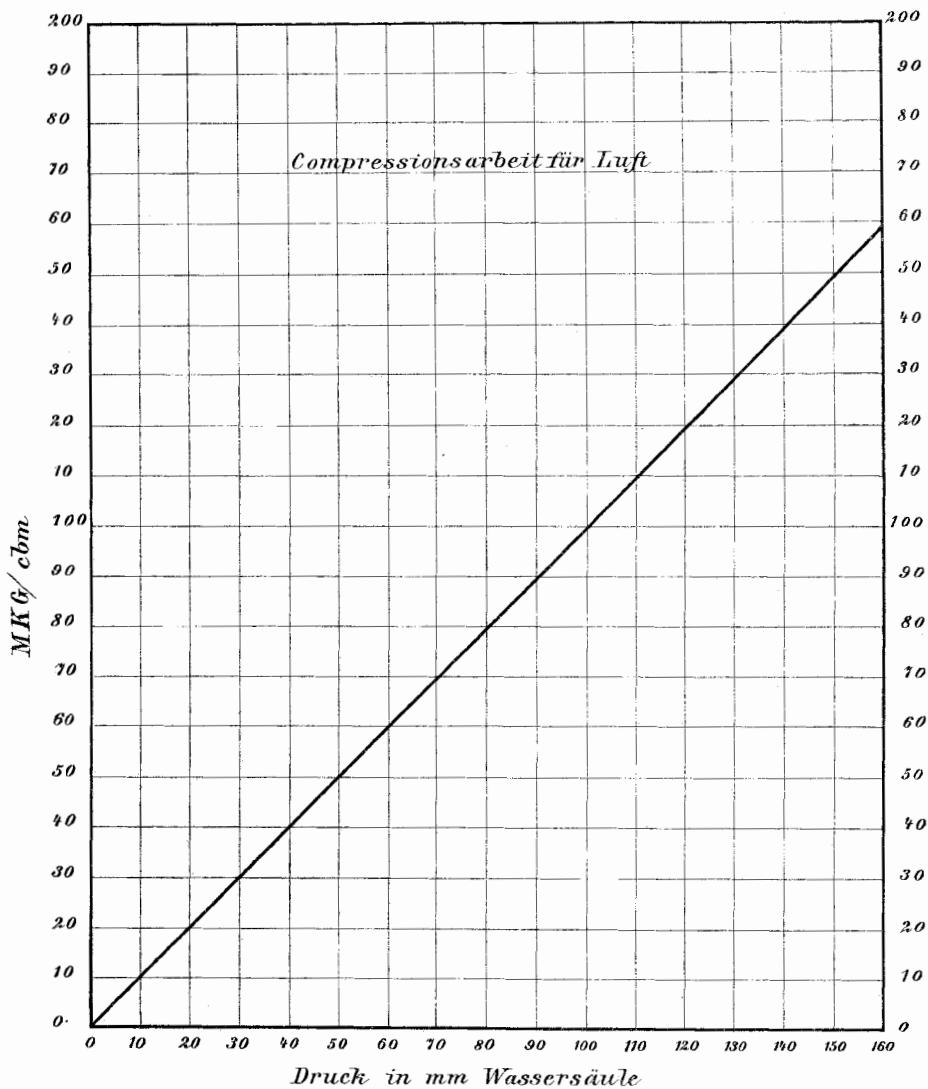


Abb. 20.

b) vorliegende Versuche:

$$\begin{aligned} n &= 1225 \\ h &= 90 \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} V &= 0,65 \text{ cbm} \\ \text{Sek.} & \end{aligned} \right.$$

Die von Lindner zur Berechnung der Ausflußmenge in der Formel $V = f \cdot F \cdot 4\sqrt{h}$ angewandten Werte f schwankten zwischen 0,65 und 0,8. Bei den vorliegenden Messungen wurde in derselben Formel verwendet $f = 0,60$.

Auffällig ist ferner, daß die Kurve, die nach Lindner den Zusammenhang zwischen Druck

den klaffenden Widerspruch der Ergebnisse die Beschaffenheit des betreffenden Exhaustors, den Lindner für seine Versuche benutzte. Es liegt nahe, anzunehmen, daß der Exhaustor vor den Versuchen geöffnet worden ist und nachher nicht so wieder zusammengesetzt wurde, wie er gewesen war.

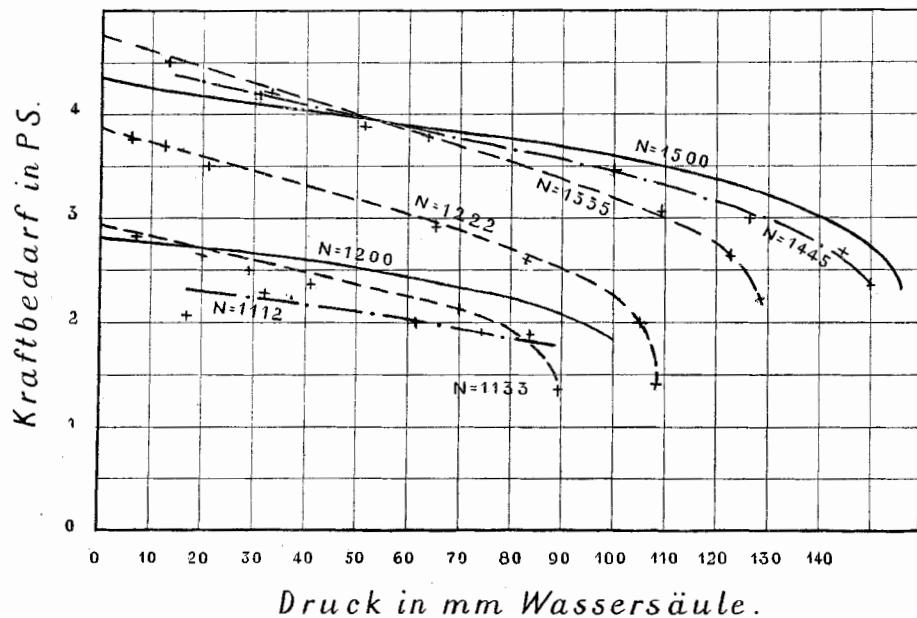
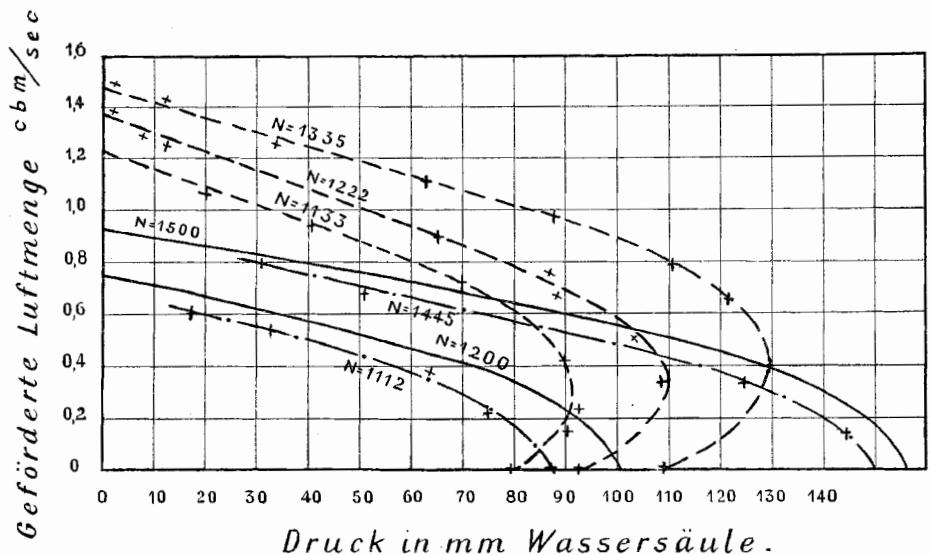
Unter allen Umständen ist es nach dem Vorstehenden völlig unzulässig, an die Lindner'schen Versuche irgend welche Folgerungen über die Leistungsfähigkeit der

D. T. S. - Steinzeugexhaustoren zu knüpfen.

Es ist in Aussicht genommen, die Prüfungsstation auf Grund von weiteren Untersuchungen, die im Gange begriffen sind, so zu verbessern, daß

gestellte D. T. S. - Exhaustor unterworfen wird, unter Benutzung der ermittelten Berichtigungsziffern vorgenommen.

5. Betriebseigenschaften der D. T. S.-Exhaustoren. Die Exhaustoren zeigten sich den gegenüber



----- Ergebnisse der vorliegenden Messungen
----- von Lindner gemessene } Werte
----- von Lindner berechnete }

Abb. 21. Siegfried III.

Vergleich der von Lindner gemessenen Werte mit den Ergebnissen der vorliegenden Messungen.

sie die Messungen der Fördermenge bis zu den in Frage kommenden Grenzen unter Fortfall aller der Anfechtung unterliegenden Berichtigungsfaktoren gestattet. Dieselbe wird alsdann auch zur Eichung von Anemometern geeignet sein. Einstweilen werden die Messungen, denen jeder fertig-

normalem Betrieb erheblich gesteigerten Ansprüchen der Versuche in jeder Hinsicht in erfreulichster Weise gewachsen.

Insbesondere erwiesen sich die Lager und Stopfbüchsen als einwandsfreie Konstruktionen. Hervorgehoben zu werden verdient auch die vor-

zügliche Beschaffenheit des vorgelegten Materials der Flügelräder, das den Anforderungen moderner Ausbildung der Flügel völlig gerecht wird und dabei Umlaufgeschwindigkeiten bis zu 45 m/Sek. gefahrlos erträgt. Dabei sind die Wirkungsgrade nur wenig niedriger als die guter eiserner Ausführungen.

Man kann also das für die D. T. S.-Zentrifugalpumpen bereits ausgesprochene Urteil auch für die Steinzeugsexhaustoren der Deutschen Ton- und Steinzeugwerke A.-G. dahin wiederholen, daß die chemische Industrie in ihnen betriebstechnisch völlig sichere Maschinen besitzt, die gleichzeitig den Anforderungen an gute Wirtschaftlichkeit in weitgehendem Maße entsprechen.

Über den Nachweis geringer Mengen Arsenik.

Von ALFRED C. CHAPMAN und H. D. LAW.

(Eingeg. d. 1/11. 1906.)

Um Spuren von Arsenik in Nahrungsmitteln und Handelsprodukten nachzuweisen, wird jetzt fast allgemein die Marsh-Berzeliusche Methode angewandt. Dieses Verfahren, welches in der Vergleichung von Arsenospiegeln gipfelt, ist von verschiedenen Analytikern auf das eingehendste geprüft worden; von Zeit zu Zeit wurden kleine Abweichungen (Verbesserungen) des Prozesses vorgeschlagen. Manche Chemiker bevorzugen zur Herstellung des Wasserstoffs elektrolytische Methoden, während andere Zink und entweder Salzsäure oder Schwefelsäure verwenden. Zuerst war man darauf bedacht, Reagenzien von solcher Reinheit herzustellen, wie sie zu den Versuchen erforderlich sind, und nach langwieriger Arbeit erhielt man Zink und Mineralsäuren, die ganz frei von Arsenik waren oder doch nur so unendlich kleine Spuren davon aufwiesen, daß ein Apparat, der noch $1/1000$ mg Arsenik nachzuweisen vermochte, nicht mehr reagierte.

Nachdem dies erreicht war, standen die Analytiker vor neuen, noch größeren Schwierigkeiten. Manche Proben des sogen. reinen Zinkes erwiesen sich als zur Verwendung in dem Marsh-Berzeliuschen Apparatur gänzlich ungeeignet, da sie die Reduktion mehr oder minder großer Mengen des hinzugefügten Arseniks verhinderten. Die Ursache hierfür zu finden, war schwierig. Andererseits wurde es bald von den Chemikern, welche den Wasserstoff auf elektrolytischem Wege herstellten, erkannt, daß die Wahl des für die Konstruktion der Kathode verwandten Metalls von größter Wichtigkeit ist. Daß Platin weniger geeignet ist als Zink oder Blei — soweit die Reduktionsfähigkeit in Frage kommt —, wurde durch verschiedene Experimente festgestellt, und es gilt jetzt als bewiesen, daß diese Inferiorität hauptsächlich auf den in derselben Reihenfolge abnehmenden Grad der Überspannung zurückzuführen ist, mit der sich der Wasserstoff an der Kathodenoberfläche entwickelt. Die Arbeiten von Caspari und Tafel, sowie der Engländer Trotman, Sand und

Hakeford lassen kaum einen Zweifel, daß dies die einzige richtige Erklärung ist.

Kurze Zeit nachdem infolge der zahlreichen, durch arsenikhaltiges Bier in England 1900—1901 verursachten Vergiftungsfälle die Bestimmung geringer Mengen Arsenik von äußerster Wichtigkeit geworden war, wurde festgestellt, daß der altgewohnte Brauch, dem Reaktionsgemisch einige Tropfen Platinchlorid zuzufügen, um die Entwicklung des Wasserstoffs zu beschleunigen, zu verwerfen ist, weil dadurch verhältnismäßig große Mengen Arsenik zurückgehalten werden. Als 1902 einer von uns vor der kgl. Kommission als Sachverständiger über die Arsenikvergiftungsfälle vernommen wurde, zeigte er, daß dies ebenso, wenn auch in geringerem Maße, für Lösungen von Kupfer- und Silbersalzen gilt. Deshalb beschlossen wir, diese Frage gründlich zu untersuchen, um die Ursache der Unempfindlichkeit“ verschiedener Proben Zink nachzuweisen. Bei einigen unserer Versuche wurden dem Reagensglas abgewogene Lösungen von Schwermetallsalzen, deren Wirkung festgestellt werden sollte, hinzugefügt, während in anderen reines „empfindliches“ Zink mit geringen Mengen der in Frage stehenden Metalle legiert wurden. Die Resultate dieser Untersuchung wurden bereits im „The Analyst“ (31, 3 [1906]) veröffentlicht; es wird daher genügen, wenn wir hier nur einige Zahlen aus einer der Tabellen wiedergeben.

Legierungen.

Zugefügtes Metall	Arsenige Säure ¹⁾				
	Zu 100 g Zink zu- gefügte Menge	an- gewandt	ge- fundene Menge	im Des- tilla- tions- gefäß zu- rück- geblieb-	
Nickel	I	0,1	30	10	20
	II	0,5	20	5	15
	III	0,1	20	10	10
	III	0,1	10	4	6
Cobalt	. . . . .	0,1	30	6	24
	. . . . .		20	4	16
Cobalt II	. . . . .	0,5	10	2	8
Eisen I	. . . . .	0,1	30	20	10
„ II	. . . . .	—	20	2	18
Eisen II	. . . . .	0,1	30	10	20
„	—	20	5	15	
Eisen III	. . . . .	0,5	20	2	18
Eisen (reduziert)	. . . . .	0,5	30	5	25
„ „	—	10	2	8	
Eisen (Draht)	. . . . .	0,5	50	10	40
„ „	—	30	5	25	
„ „	—	10	1	9	
Kupfer	. . . . .	0,1	30	10	20
„	—	20	2	18	
Silber	. . . . .	0,2	30	12	18
„	—	20	5	15	
Platin	. . . . .	0,2	30	6	24
Natrium	. . . . .	5	10	5	5
Zinn	. . . . .	0,5	10	10	—
Cadmium	. . . . .	0,5	10	10	—

Mit Blei wurde auch experimentiert — die Resultate sind in der Tabelle nicht enthalten — und festgestellt, daß es ähnlich dem Zinn und Kad-

¹⁾ Die Zahlen der drei letzten Reihen stellen Tausendstel eines Milligrammes dar.