

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

26

schen

turbinen

ihre Wirkungsweise,  
Berechnung und Konstruktion

Von

Prof. Hermann Wilda

I

Theorie der Dampfturbinen

Mit 48 Abbildungen



# Maschinenbautechn. Bibliothek

aus der Sammlung Göschen

Jedes Bändchen in Leinwand gebunden 90 Pfennig

**Das Rechnen in der Technik** und seine Hilfsmittel (Rechenchieber, Rechentafeln, Rechenmaschinen usw.) von Ingenieur Joh. Eugen Mayer. Mit 30 Abbildungen. Nr. 405.

**Technische Tabellen und Formeln** von Dr.-Ing. W. Müller, Dipl.-Ing. am Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde. Mit 106 Figuren. Nr. 579.

**Materialprüfungswesen.** Einführung in die moderne Technik der Materialprüfung von K. Memmler, Dipl.-Ing., ständiger Mitarbeiter am Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde. **I:** Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfsmittel für Festigkeitsversuche. Mit 58 Figuren. Nr. 311.

— **II:** Metallprüfung und Prüfung von Hilfsmaterialien des Maschinenbaues. — Baumaterialprüfung. — Papierprüfung. — Schmiermittelprüfung. — Einiges über Metallographie. Mit 31 Figuren. Nr. 312.

**Metallographie.** Kurze, gemeinfaßliche Darstellung der Lehre von den Metallen und ihren Legierungen unter besonderer Berücksichtigung der Metallmikroskopie von Prof. E. Heyn und Prof. O. Bauer am Kgl. Materialprüfungsamt (Groß-Lichterfelde) der Kgl. Techn. Hochschule zu Berlin. **I:** Allgemeiner Teil. Mit 45 Abbildungen im Text und 5 Lichtbildern auf 3 Tafeln. Nr. 432.

— **II:** Spezieller Teil. Mit 49 Abbildungen im Text und 37 Lichtbildern auf 19 Tafeln. Nr. 433.

**Statik. I:** Die Grundlehren der Statik starrer Körper von Professor W. Hauber, Diplom-Ingenieur in Stuttgart. Mit 82 Figuren. Nr. 178.

— **II:** Angewandte Statik. Mit 61 Figuren. Nr. 179.

**Graphische Statik** mit besonderer Berücksichtigung der Einflußlinien von Dipl.-Ing. Otto Henkel, Oberlehrer an der Kgl. Tiefbau- schule in Rendsburg. 2 Teile. Mit 207 Figuren. Nr. 603 u. 695.

**Festigkeitslehre** von Prof. W. Hauber, Diplom-Ingenieur in Stuttgart. Mit 56 Figuren. Nr. 288.

**Aufgabensammlung zur Festigkeitslehre m. Lösungen** von R. Haren, Dipl.-Ing. in Mannheim. Mit 42 Figuren. Nr. 491.

**Hydraulik** von Prof. W. Hauber, Diplom-Ingenieur in Stuttgart. Mit 44 Figuren. Nr. 397.

**Kinematik** von Dipl.-Ing. Hans Polster, Assistent an der Kgl. Techn. Hochschule in Stuttgart. Mit 584.

**Elastizität** von Prof. Dr. ...  
**Allgemeine Grundlagen und**  
**Ebenen** ... **Zylinder**  
Prof. Dr. ... **Träger** von  
und Pri ... chule Stuttgart  
bildung ... art. Mit 60 Ab-

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297981

- Geometrisches Zeichnen** von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neubearbeitet von Professor J. Vonderlinn, Direktor der Kgl. Baugewerkschule in Münster. Mit 290 Figuren und 23 Tafeln im Text. Nr. 58.
- Schattenkonstruktionen** von Professor J. Vonderlinn in Münster. Mit 114 Figuren. Nr. 236.
- Parallelperspektive.** Rechtwinklige und schiefwinklige Axonometrie von Professor J. Vonderlinn in Münster. Mit 121 Figuren. Nr. 260.
- Zentral-Perspektive** von Architekt Hans Freyberger, neubearbeitet von Prof. J. Vonderlinn in Münster i. W. Mit 132 Fig. Nr. 57.
- Darstellende Geometrie** von Dr. Robert Haußner, Professor an der Universität Jena. **I.** Mit 110 Figuren. Nr. 142.  
— — **II.** Mit 40 Figuren. Nr. 143.
- Praktisches Maschinenzichnen** von Ing. Rich. Schiffner in Warmbrunn. **I:** Grundbegriffe, Einfache Maschinenteile bis zu den Kuppelungen. Mit 60 Tafeln. Nr. 589.  
— — **II:** Lager, Riem- und Seilscheiben, Zahnräder, Kolben-Pumpe. Mit 51 Tafeln. Nr. 590.
- Die Maschinenelemente.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.
- Metallurgie** von Dr. August Geitz in Kristianssand (Norwegen). **I. II.** Mit 21 Figuren. Nr. 313, 314.
- Eisenhüttenkunde** von A. Krauß, diplomierter Hütteningenieur. **I:** Das Roheisen. Mit 17 Figuren und 4 Tafeln. Nr. 152.  
— — **II:** Das Schmiedeeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.
- Lötrohrprobierkunde.** Qualitative Analyse mit Hilfe des Lötrohrs von Dr. Martin Henglein in Freiberg. Mit 10 Figuren. Nr. 483.
- Technische Wärmelehre (Thermodynamik)** von K. Walther und M. Röttinger, Diplom-Ingenieuren. Mit 54 Figuren. Nr. 242.
- Mechanische Technologie** von Geh. Hofrat Prof. A. Lüdicke in Braunschweig. 2 Bände. Nr. 340, 341.
- Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- und Kältemaschinen** von M. Röttinger. Diplom-Ingenieur in Mannheim. Mit 73 Figuren. Nr. 2.
- Die Kalkulation im Maschinenbau** von Ingenieur H. Bethmann, Dozent am Technikum Altenburg. Mit 61 Abbildungen. Nr. 486.
- Die Geschwindigkeitsregler der Kraftmaschinen** von Dr.-Ing. H. Kröner in Friedberg. Mit 33 Figuren. Nr. 604.
- Die Dampfmaschinen.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. 2 Bdchn. **I:** Wärmetheoretische und dampftechnische Grundlagen. Mit 64 Figuren. Nr. 8.  
— — **II:** Bau und Betrieb der Dampfmaschinen. Mit 109 Fig. Nr. 572.
- Die Dampfkessel.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Obering. in Nürnberg. **I:** Kesselsysteme und Feuerungen. Mit 43 Figuren. Nr. 9.  
— — **II:** Bau und Betrieb der Dampfkessel. Mit 57 Fig. Nr. 521.
- Die Gaskraftmaschinen.** Kurzgefaßte Darstellung der wichtigsten Gasmaschinen-Bauarten von Ingenieur Alfred Kirschke. 2 Bändchen. Mit vielen Figuren. Nr. 316 u. 651.

- Die Dampfturbinen**, ihre Wirkungsweise und Konstruktion von Ingenieur Prof. Hermann Wilda in Bremen. 3 Bändchen. Mit zahlreichen Abbildungen. Nr. 274, 715, 716.
- Die Wasserturbinen** von Dipl.-Ing. P. Holl in Berlin. **I:** Allgemeines. Die Freistrahlturbinen. Mit 113 Abbildungen. Nr. 541.  
 — **II:** Die Überdruckturbinen. Die Wasserkraftanlagen. Mit 102 Abbildungen. Nr. 542.
- Die zweckmäßigste Betriebskraft** von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. **I:** Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschiedene Kraftmaschinen. Mit 27 Abbildungen. Nr. 224.  
 — **II:** Gas-, Wasser- und Windkraft-Anlagen. Mit 31 Abbild. Nr. 225.  
 — **III:** Elektromotoren. Betriebskostentabellen. Graphische Darstellungen. Wahl der Betriebskraft. Mit 27 Abbildungen. Nr. 474.
- Eisenbahnfahrzeuge** von H. Hinnenthal, Kgl. Regierungsbaumeister und Oberingenieur in Hannover. **I:** Die Lokomotiven. Mit 89 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. Nr. 107.  
 — **II:** Die Eisenbahnwagen und Bremsen. Mit 56 Abbildungen im Text und 3 Tafeln. Nr. 108.
- Die Hebezeuge**, ihre Konstruktion und Berechnung von Ingenieur Hermann Wilda, Prof. am staatl. Technikum in Bremen. Mit 399 Abbildungen. Nr. 414.
- Pumpen, Druckwasser- und Druckluft-Anlagen.** Ein kurzer Überblick von Dipl.-Ing. Rudolf Vogdt, Regierungsbaumeister a. D. in Aachen. Mit 87 Abbildungen. Nr. 290.
- Die landwirtschaftlichen Maschinen** von Karl Walther, Dipl.-Ingenieur in Essen. 3 Bändchen. Mit vielen Abb. Nr. 407—409.
- Die Werkzeugmaschinen für Holzbearbeitung** von Ing. Prof. Herm. Wilda in Bremen. Mit 125 Abbildungen. Nr. 582.
- Die Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung** von Ing. Prof. Hermann Wilda in Bremen. **I:** Die Mechanismen der Werkzeugmaschinen. Die Drehbänke. Die Fräsmaschinen. Mit 319 Abbildungen. Nr. 561.  
 — **II:** Die Bohr- und Schleifmaschinen. Die Hobel-, Shaping- und Stoßmaschinen. Die Sägen und Scheren. Antrieb und Kraftbedarf. Mit 199 Abbildungen. Nr. 562.
- Gießereimaschinen** von Dipl.-Ing. Emil Treiber in Heidenheim a. B. Mit 51 Figuren. Nr. 548.
- Die elektrisch betriebenen Fördermaschinen** von Diplom-Bergingenieur A. Balthaser. Mit vielen Fig. Nr. 678.
- Die Preßluftwerkzeuge** von Diplom-Ingenieur P. Iltis, Oberlehrer an der Kaiserl. Technischen Schule in Straßburg. Mit 82 Figuren. Nr. 493.
- Die Baumaschinen** von Ingenieur Johannes Körting in Düsseldorf. Mit 130 Abbildungen. Nr. 702.
- Technisches Wörterbuch**, enthaltend die wichtigsten Ausdrücke des Maschinenbaues, Schiffbaues und der Elektrotechnik von Erich Krebs in Berlin. **I:** Deutsch-Englisch. Nr. 395.  
 — **II:** Englisch-Deutsch. Nr. 396.  
 — **III:** Deutsch-Französisch. Nr. 453.  
 — **IV:** Französisch-Deutsch. Nr. 454.

Weitere Bände erscheinen in rascher Folge.

Sammlung Göschen

# Die Dampfturbinen

Ihre

Wirkungsweise, Berechnung u. Konstruktion

Von

Prof. Hermann Wilda

Ingenieur

Inhaber der Medaille des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen

Erster Teil

Theorie der Dampfturbinen

Dritte, erweiterte Auflage

Mit 46 Abbildungen



Berlin und Leipzig

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, G. m. b. H.

1914

~~126~~



## Literatur.

### Werke über Dampfturbinen:

1. Stodola, Die Dampfturbinen, Berlin, Springer, 3. Aufl. 1905.
2. Wagner, Die Dampfturbinen, Hannover, Gebr. Jänecke, 1904.
3. Gentsch, Dampfturbinen, Hannover, Helwing, 1904.
4. Musil, Die Dampfturbinen.
5. Niethammer, Die Dampfturbinen.
6. Neilson, The steam-turbine.
7. Zeuner, Thermodynamik.
8. Zwonicek, Dampfturbinen.
9. Eyer mann, Dampfturbinen.

1-301274

### Zeitschriften:

1. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 48, 49, 50, 51.  
Koob, Strömungserscheinungen in Düsen.  
Koob, Die Berechnung der Dampfturbinen auf zeichnerischer Grundlage.  
Büchner, Zur Frage der Laval-Düsen.  
Pröll, Thermodynamische Rechentafel.  
Prandtl u. Pröll, Beiträge zur Theorie der Dampfströmung durch Düsen.  
Mollier, Neue Diagramme zur technischen Wärmelehre.  
Bantlin, Die Hamilton-Holzwarth-Turbine.  
Feldmann, Amerikanische Dampfturbinen.  
Weißhäuptl, Die Zölly-Turbine.  
Lasche, Die Dampfturbinen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.  
Reidt, Mitteilungen über Dampfturbinen von Brown-Boveri-Parsons.  
Guthermuth, Dampfturbinen.
2. Engineering 1904, 1905, 1906, 1907, 1908 bis 1913.  
6. Mai. Marine Steam-Turbines.  
20. Mai. The development of the Parsons steam-turbine.  
24. Juni. Hodginson, Some theoretical and practical consideration in steam-turbine work. Bd. 72, S. 466. Regenerative accumulators.
3. Electrical Review. Bd. 38, 42. Hodginson, The steam-turbine.
4. Iron Age 1903, 1911, No. 5. Rac, Steam engineering in the navy.
5. Zeitschrift des österreichischen Architekten- und Ingenieur-Vereins. Musil, Die Parsons-Dampfturbine.
6. Transactions of the American society of Mech. Engineers 1904, 1907, 1912.
7. Zeitschrift des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes, April 1904. Grunert, Der heutige Stand der Dampfturbinenfrage.
8. Transactions of the Institution of Mech. Engineers 1904, 1907, 1912. Different applications of steam-turbines.
9. Revue de Mécanique 1904—1913. Rateau, Théorie élémentaire des turbines à vapeur.
10. Revue industrielle. Bd. 1904—1913. Descroix, Application des turbines à vapeur aux navires rapides.
11. Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen, 1906, 1907. Aufsätze von Bánki, Jansson, Stodola, Langen, Bär, Loschge, Zerkowitz, Bringbaum.
12. Vgl. im übrigen: Übersicht der Journalliteratur. Herausgegeben vom Kaiserl. Patentamt, Berlin, Jahrgänge 1900, 1901, 1902, 1903, 1904—1912.

Druck von Georg Reimer, Berlin.

Akc. Nr.

~~5512/50~~

3PLU-B-569/2010

*Spitz*

*Fischer Mpt.*

# Inhaltsverzeichnis.

## Erster Abschnitt.

### Die Eigenschaften des Wasserdampfes und seine Wirkungsweise in den Dampfturbinen.

	Seite
1. Begriff der potentiellen und kinetischen Energie .....	7
2. Adiabatische Expansion .....	8
3. Gesättigter Dampf.....	8
4. Umsetzung von Arbeit und Wärme .....	11
a) Druck-, Wärme-, Geschwindigkeitsgefälle.....	11
b) Arbeitsweise der Dampfturbinen .....	11
5. Übersicht über die Eigenschaften des Wasserdampfes mit Rücksicht auf seine Verwendung in Dampfturbinen .....	12
a) Eigenschaften des gesättigten Dampfes .....	12
$\alpha$ ) Ermittlung der Gesamtwärme .....	13
$\beta$ ) Spezifische Wärme .....	14
b) Überhitzter Wasserdampf.....	15
$\alpha$ ) Vorteile des überhitzten Wasserdampfes .....	16
$\beta$ ) Bewertung der Überhitzung .....	17
$\gamma$ ) Kohlenverbrauch für gesättigten und überhitzten Wasserdampf .....	17
6. Entropie.....	18
a) Begriff der Entropie .....	19
b) Berechnung der Entropie .....	20
c) Änderung der Entropie.....	21
7. Graphische Darstellungen der Zustandsänderungen des Wasserdampfes	23
a) Druck-Volumendiagramm .....	23
b) Entropiediagramm .....	23
$\alpha$ ) Entropiediagramm für gesättigten Wasserdampf .....	23
$\beta$ ) Adiabatische Zustandsänderung im Entropiediagramm.....	26
$\gamma$ ) Entropie überhitzten Dampfes .....	26
$\delta$ ) Thermischer Wirkungsgrad .....	27
c) Das IS-(Mollier-) Diagramm .....	30
8. Drosselung des Dampfes .....	32
9. Ausströmung des Wasserdampfes .....	33
a) Arbeitsleistung und Wärmegefälle .....	33
b) Ausflußgeschwindigkeit des Dampfes .....	35
c) Ausflußgeschwindigkeit für verschiedene Druckunterschiede...	37
d) Ausfluß des Dampfes aus Düsen .....	38

	Seite
a) Ausfluß ohne Widerstände .....	38
1. Einfache Mündung .....	38
2. Kritischer Druck, kritische Geschwindigkeit .....	38
3. Querschnitt der Düsen .....	40
4. Graphische Darstellung der Ausflußvorgänge .....	41
5. Ausflußmenge .....	43
6. Verhältnis von Druck und Düsenquerschnitt .....	44
7. Gestalt der Düsen .....	44
8. Graphische Ermittlung der Düsenquerschnitte .....	46
β) Wirklicher Ausfluß aus Düsen .....	47
1. Verluste .....	47
2. Reibung .....	48
3. Beurteilung der Verluste .....	48
4. Graphische Darstellung der Verluste .....	51
a) Druck-Volumendiagramm .....	51
β) Entropiediagramm .....	52
γ) IS (Mollier-)Diagramm .....	52
δ) Beispiele für die Berechnung von Düsen .....	53

## Zweiter Abschnitt.

### Die Ausnutzung der Energie des Dampfes in den Dampfturbinen.

I. Umsetzung der kinetischen Energie in Dampfturbinen .....	59
1. Axial- und Radialturbinen .....	59
2. Gleichdruck- und Überdruckwirkung .....	59
II. Mittel zur Verminderung der Umlaufzahl .....	60
1. Druckwirkung des Dampfes .....	60
a) Einstufige Gleichdruckturbinen .....	60
α) Einschaltung von Rädervorgelegen .....	61
β) Abstufung der Geschwindigkeit .....	61
γ) Wiederholte Beaufschlagung .....	63
b) Mehrstufige Gleichdruckturbinen .....	63
α) Druckabstufung .....	63
β) Druck- und Geschwindigkeitsabstufung .....	65
c) Überdruckwirkung .....	66
d) Geschwindigkeits-Gleichdruckturbinen, Geschwindigkeits- Überdruckturbinen .....	68
2. Vergleich der Druck- und Überdruckwirkung des Dampfes ..	71
a) Gleichdruck- oder Aktionsturbinen .....	71
α) Alleinige Druckwirkung .....	71
β) Geschwindigkeitsabstufung .....	73
b) Vor- und Nachteile .....	73
c) Überdruckturbinen .....	74
d) Kombinierte Turbinen .....	75
3. Klassifizierung der Dampfturbinen .....	75

## Dritter Abschnitt.

## Geschwindigkeits-, Druck- und Dampfverluste in den Dampfturbinen, Leistung, Wirkungsgrad, Dampfverbrauch.

I. Geschwindigkeits-, Druck- und Dampfverluste.....	78
1. Übersicht über die auftretenden Verluste .....	78
2. Düsenverluste .....	78
3. Leit- und Laufschaufelverluste.....	79
4. Stoß-, Wirbel- und Schwingungsverluste.....	80
a) Gleichdruckturbinen .....	80
b) Überdruckturbinen .....	80
5. Spaltverluste .....	81
a) Gleichdruckturbinen ohne und mit Geschwindigkeitsabstufung	81
b) Überdruckturbinen .....	83
c) Größe der Spaltverluste.....	85
6. Labyrinthverluste .....	86
a) Begriff der Labyrinthdichtung .....	86
b) Dampfverluste .....	87
7. Verluste durch Wärmestrahlung .....	88
8. Reibungsverluste .....	89
a) Allgemeine Beziehungen .....	89
b) Turbinen mit zwei Geschwindigkeitsstufen .....	89
c) Überdruckturbinen .....	89
d) Reibung an den Stirnflächen der Laufräder .....	90
e) Arbeitsverlust durch Reibung .....	90
f) Berechnung der Verluste .....	90
9. Ventilationsverluste .....	92
10. Leerlaufarbeit .....	92
11. Austrittsverluste .....	93
II. Leistung, Wirkungsgrad, Dampfverbrauch.....	93
1. Leistung .....	93
a) Theoretische Gesamtleistung .....	93
b) Praktische Ermittlung der effektiven Leistung .....	94
$\alpha$ ) Vergleich der Leistung von Kolbenmaschinen und Dampfturbinen.....	94
$\beta$ ) Effektive elektrische Leistung .....	94
2. Wirkungsgrad .....	95
a) Thermodynamischer Wirkungsgrad .....	95
b) Indizierter Umfangswirkungsgrad .....	95
c) Mechanischer Wirkungsgrad.....	97
d) Effektiver Wirkungsgrad .....	98
e) Spaltverlust-Wirkungsgrad .....	99
f) Wirtschaftlicher Wirkungsgrad .....	99
g) Zahlenwerte .....	100
h) Vergleich der Turbinensysteme in bezug auf ihren Wirkungsgrad .....	100

	Seite
<b>3. Der Dampfverbrauch der Turbinen</b> .....	102
a) Erfahrungssätze .....	102
b) Theoretischer Dampfverbrauch .....	103
c) Dampfverbrauch für eine indizierte PS. ....	103
d) Dampfverbrauch für eine effektive PS. ....	103
e) Dampfverbrauch bei Leerlauf .....	103
f) Teilweise Beaufschlagung .....	104
g) Dampfverbrauch für verschiedene Turbinensysteme .....	104
h) Praktische Messung des Dampfverbrauchs .....	105
i) Vergleich der Wärmeausnutzung von Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen .....	108

### Vierter Abschnitt.

#### Die Beziehungen zwischen den absoluten und relativen Dampfgeschwindigkeiten, der Umfangsgeschwindigkeit, der indizierten Leistung und dem indizierten Wirkungsgrad.

1. Allgemeine Gesichtspunkte .....	109
2. Gleichdruckturbinen .....	110
a) ohne Ausnutzung der Austrittsgeschwindigkeit .....	110
b) mit Ausnutzung der Austrittsgeschwindigkeit .....	112
3. Überdruckturbinen .....	113
4. Darstellung von $\eta_i$ .....	116
5. Radialturbinen .....	117
Zahlentafeln .....	123
a) Zahlentafel 1 über gesättigten Wasserdampf nach Callendar	123
b) Zahlentafel 2 für überhitzten Wasserdampf nach Callendar	125
c) Zahlentafel 3: Spezifisches Volumen von überhitztem Wasserdampf nach den Versuchen von Knoblauch und Jakob	126

Gesamtregister von Band I, II u. III, siehe Band III.

## Erster Abschnitt.

---

### Die Eigenschaften des Wasserdampfes und seine Wirkungsweise in den Dampfturbinen.

1. Während bei der Kolbendampfmaschine das Arbeitsvermögen des Dampfes durch den vom Dampf ausgeübten Expansionsdruck zur Überwindung äußerer Widerstände, d. h. zur Überwindung äußerer Arbeit, ausgenutzt wird, also die sog. potentielle Energie des Dampfes Arbeit leistet, kommt in den Dampfturbinen die zweite Energieform des Dampfes, die kinetische oder strömende Energie, zur Wirkung. Bei der Umsetzung der potentiellen in die kinetische Energie wird der Arbeit leistende Dampfdruck in die gleichwertige Erscheinungsform der Dampfströmung verwandelt, indem dem Dampf durch mehr oder minder vollkommen angenommene adiabatische Expansion der Druck ganz oder teilweise entzogen und in Geschwindigkeit umgesetzt wird. Dadurch läßt sich genau derselbe äußere Widerstand überwinden, wie es durch die Arbeit leistende Ausnutzung des entsprechenden Druckabfalles (Druckgefälles) möglich ist.

Die Begriffe der potentiellen und kinetischen Energie lassen sich durch eine gespannte Bogensehne veranschaulichen, durch deren Entspannung dem Pfeil eine Geschwindigkeit erteilt wird. Der zum Spannen der Sehne erforderliche und in ihr im gespannten Zustand

aufgespeicherte Kraftaufwand ist dem Wärmearbeit vergleichbar, durch dessen Zuführung dem Dampf eine bestimmte Expansionsfähigkeit verliehen wird. Durch Entspannung der Sehne wird dieser Kraftaufwand in kinetische Energie umgewandelt, die der Masse des Pfeils eine gewisse Geschwindigkeit erteilt und die sich bei seinem Auftreffen auf einen Widerstand leistenden Körper in mechanische Arbeit umwandelt, vermöge deren der Pfeil so tief in den widerstehenden Körper eindringt, bis die ihm erteilte Geschwindigkeit völlig aufgezehrt ist.

2. Adiabatische Expansion geht vor sich, wenn während der Ausdehnung des Dampfes kein Wärmeaustausch und keine Reibung zwischen dem Dampf und den Wandungen des Raumes stattfindet, innerhalb dessen er expandiert.

Die Zeitdauer, während der der Dampf beim Eintritt in die Dampfturbine sich in diesem Raum, der Düse oder Leitvorrichtung, aufhält (einige Zehntausendtel einer Sekunde), ist so kurz, daß für die theoretische Untersuchung die Annahme adiabatischer Zustandsänderung gerechtfertigt erscheint.

3. Geht gesättigter Dampf (vgl. S. 12) vom Druck  $p_1$  kg/qcm und dem Volumen  $V_1$  cbm/kg durch adiabatische Zustandsänderung in den Druck  $p_2$  kg/qcm und das Volumen  $V_2$  cbm/kg über, so besteht die Beziehung:

$$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k. \quad (1)$$

Hierin ist, wenn in 1 kg des aus Wasser und Dampf bestehenden Gemisches  $x$  kg in Dampfform, also  $1 - x$  kg in flüssiger Form enthalten sind, so lange  $x > 0,7$  kg:

$$k = 1,035 + 0,1 x. \quad (2)$$

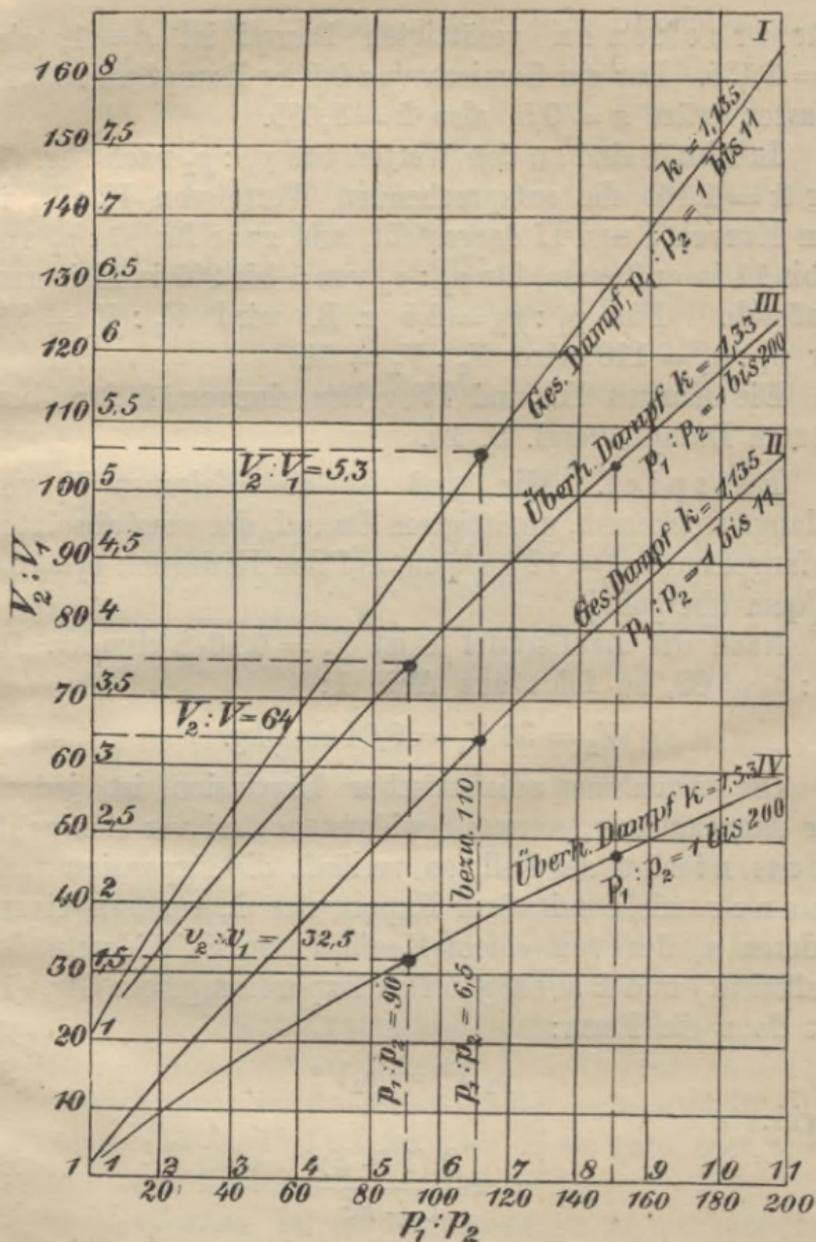


Abb. 1.

Beziehung zwischen  $V_2:V_1$  und  $p_1:p_2$ .

Für trockenen gesättigten Dampf ist  $x = 1$ , also  $k = 1,135$ . Für ein Gemisch von 0,5 kg Dampf und 0,5 kg Wasser, wäre  $x = 0,5$ , also  $k = 1,085$ .

In Abb. 1 sind zu den Werten von  $p_1 : p_2$  nach Glg. (1) für  $k = 1,135$  die entsprechenden Werte von  $V_2 : V_1$  in den Kurven I und II dargestellt, und zwar für  $p_1 : p_2$  von 1 bis 11 in größerem, für  $p_1 : p_2$  von 1 bis 200 in kleinerem Maßstab. Für  $p_1 : p_2 = 6,5$  z. B. wird  $V_2 : V_1 = 5,3$ , für  $p_1 : p_2 = 110$  wird  $V_2 : V_1 = 64$ .

Die Kurven III und IV gelten sinngemäß für überhitzten Dampf, vergl. S. 15.

Beispiel. Wie groß ist das Volumen  $V_2$  von anfangs trockenem, gesättigtem Dampf, der vom absoluten Anfangsdruck  $p_1 = 12$  kg/qcm, auf den Enddruck  $p_2 = 0,2$  kg/qcm übergeht?

Nach der Zahlentafel 1 ist  $V_1 = 0,1678$  cbm/kg. Da  $p_1 : p_2 = 60$ , so folgt aus Abb. 1:

$$V_2 = 36 V_1 = 6,04 \text{ cbm/kg.}$$

Die Annahme adiabatischer Expansion ist jedoch nur dann zulässig, wenn sie widerstandsfrei vor sich geht. Ist das nicht der Fall, so verläuft die Expansion nach Zeuner nicht mit dem Exponenten  $k$ , sondern einem anderen  $n$ , der von einem Koeffizienten  $\xi$  (Widerstandskoeffizient) und  $k$  abhängt. Das Expansionsgesetz Glg. (1) hat dann die Form:

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \quad (3)$$

worin:

$$n = \frac{k(1 + \xi)}{1 + k\xi} \quad (4)$$

Da für adiabatische Expansion  $\xi = 0$  ist, wird  $n = k$ . Der Verlauf der Expansion nach Glg. (3) heißt

polytropisch, Näheres über Zustandsänderungen des Dampfes siehe Sammlung G ö s c h e n , Nr. 242.

4. Um dem Dampf einen bestimmten Druck zu verleihen, ist die Zuführung einer gewissen W ä r m e m e n g e erforderlich. Diese setzt sich bei der Expansion unter Leistung äußerer Arbeit in dem Maße in Energie um, als es der Druckverminderung entspricht, so daß die im Dampf nach der Arbeitsleistung noch aufgespeicherte Wärmemenge denselben Wert besitzt, als wenn die dem Druck entsprechend gleichwertige Geschwindigkeit ausgenutzt worden wäre.

a) Einem bestimmten Druckgefälle oder dem gleichwertigen (äquivalenten) Geschwindigkeitsgefälle entspricht demnach ein gleichwertiges Wärmegefälle, so daß bei der Kolbendampfmaschine und der Dampfturbine theoretisch für die Leistung gleicher Arbeit dieselbe Größe des Wärmegefälles zur Ausnutzung gelangt.

b) Die Arbeitsweise aller Dampfturbinensysteme besteht also darin, daß die in dem Dampf von gegebener Spannung enthaltene potentielle Energie in Geschwindigkeit umgesetzt, und durch die auftretende kinetische Energie auf Laufräder mittels Schaufeln in drehendem Sinne eingewirkt wird. Dabei wird dem Dampf die für seine Erzeugung erforderlich gewesene Wärme wieder entzogen. Der Unterschied ihrer Arbeitsweise liegt nur darin, ob die Umwandlung des Druckgefälles in Strömungsenergie ganz oder teilweise vor dem Eintritt des Dampfes in die Turbine erfolgt oder ob sie ganz oder teilweise in die Turbine verlegt ist.

Die Umsetzung der Strömungsenergie in mechanische Arbeit muß möglichst in dem Maße erfolgen, daß dem Dampf nach Durchströmung der Turbine nur die Ge-

schwindigkeit verbleibt, um beim Austritt den Gegendruck, sei es den der äußeren Atmosphäre oder den des Kondensators überwinden zu können, wobei ihm gleichzeitig ein so großer Wärmebetrag entzogen wird, daß er nur noch den seinem Enddruck entsprechenden besitzt.

Die Dampfturbinen arbeiten grundsätzlich wie die Wasserturbinen, jedoch sind die Gesetze, die den Ausfluß von Dampf bestimmen, völlig andere, wie für Wasser.

Auch der Verlauf der Entwicklung der Dampfturbinen hat sich nach ähnlichen Leitlinien wie bei Wasserturbinen vollzogen, indem bei diesen zunächst das Reaktionsrad für mittlere veränderliche Gefälle und gleichbleibenden Zufluß, dann die Aktionsturbine für hohe Gefälle und kleine veränderliche Wassermenge und endlich die Grenzturbine für veränderliche Gefälle und Wassermengen ihren Weg in die Praxis fanden.

5. Übersicht über die Eigenschaften des Wasserdampfes mit Rücksicht auf seine Verwendung in Dampfturbinen.

a) Gesättigter Wasserdampf besitzt bei einer bestimmten Temperatur den größten Druck und die größte Dichte, die er bei dieser Temperatur überhaupt erreichen kann. Seine Temperatur ist gleich der Siedetemperatur des Wassers, aus dem er entstand, und ändert sich nicht, so lange Verdampfung stattfindet. Die dem Wasser zugeführte Wärme dient zur Verwandlung des Wassers in Dampf und der Überwindung des äußeren Drucks. Druck und Temperatur ändern sich gleichzeitig, ohne Rücksicht darauf, ob der entstandene Dampf mehr oder weniger mitgerissenes Wasser enthält, also trocken, feucht oder naß ist, auch das Volumen spielt dabei keine Rolle. Die Wärmemenge (Gesamtwärme)  $\lambda$  WE, die erforderlich ist, um aus 1 kg Wasser von  $0^{\circ}\text{C}$  ( $273^{\circ}$  absoluter Temperatur)

Dampf von  $t^{\circ}\text{C}$  ( $T^{\circ}$  absoluter Temperatur), dem ein Druck  $p$  kg/qcm absolut entspricht, zu erzeugen, beträgt nach Callendar:

$$\lambda = 594,7 + 0,477 t - y_1 p \quad (5)$$

worin:

$$y_1 = 2,34 \left( \frac{13}{3} y_2 - 0,001 \right) \quad (6)$$

und

$$y_2 = 0,075 \left( \frac{273}{T} \right)^{\frac{10}{3}}.$$

Die Werte von  $y_1$  und  $y_2$  sind aus Zahlentafel 2 zu entnehmen.

Das spezifische Volumen  $V$  cbm/kg läßt sich ermitteln nach Callendar aus:

$$V = 0,001 + \frac{47 T}{10000 p} - y_2. \quad (7)$$

Meist genügt es, angenähert zu setzen:

$$V = \approx 47 \cdot \frac{T}{10000 p}. \quad (7 a)$$

Nach Mollier ist:

$$V = 0,075 \left( \frac{273}{T} \right)^{\frac{10}{3}} = y_2, \quad (8)$$

die Werte von  $y_2$  siehe Zahlentafel 2.

$\alpha$ ) Die Ermittlung der Gesamtwärme  $\lambda_{\text{WE}}$  des gesättigten Dampfes kann durch Messung des Kondensats des Dampfes erfolgen, indem man aus Temperatur und Menge des Kühlwassers die gesamte, dem Kondensator zugeführte Wärme bestimmt, oder durch Bestimmung der Abdampfwärme im Kalori-

meter. Jedoch lassen sich gute Abdampfproben nur schwer erhalten.

Beispiel für die Ermittlung der Gesamtwärme und der Arbeitsumsetzung von 1 kg gesättigtem Wasserdampf, der zwischen den Druckgrenzen  $p_1 = 12$  kg/qcm und  $p_2 = 0,2$  kg/qcm expandiert.

Nach Zahlentafel 1 ist für  $p_1 = 12$  kg/qcm:

$$\lambda_1 = 668,1 \text{ WE,}$$

nach Zahlentafel 1 ist für  $p_2 = 0,2$  kg/qcm:

$$\lambda_2 = 622,4 \text{ WE.}$$

Befinden sich am Ende der Expansion z. B.  $x = 19\%$  Wasser im Gemisch vom Druck  $p_2$ , so enthält das Gemisch:

$$\lambda_3 = 622,4 \cdot 0,81 = 504,14 \text{ WE,}$$

die 0,19 kg Wasser vom Druck  $p_2$  haben eine Temperatur  $t_2 = 59,8^\circ \text{ C}$  (Zahlentafel 1), folglich beträgt die aufgewendete Flüssigkeitswärme:

$$q = t_2 x = 59,8 \cdot 0,19 = 11,35 \text{ WE.}$$

Als Gesamtwärme nach der Expansion hat man also:

$$\lambda_4 = \lambda_3 + q = 504,14 + 11,35 = 515,49 \text{ WE,}$$

mithin sind in mechanische Arbeit während der Expansion umgesetzt:

$$i = \lambda_1 - \lambda_4 = 668,1 - 515,49 = 152,61 \text{ WE.}$$

Bei einer Mischung von  $G_1$  kg mit  $G_2$  kg Dampf, welche die Erzeugungswärme  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  besitzen, besitzt das Gemisch eine Erzeugungswärme:

$$\lambda_3 = (G_2 \lambda_2 + G_1 \lambda_1) : (G_1 + G_2) \quad (9)$$

$\beta$ ) Die spezifische Wärme  $c_p$  bei konstantem Druck ist in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur  $t^\circ \text{ C}$  noch nicht endgültig bestimmt. Nach Versuchen von Knoblauch und Jakob steigt die spezifische Wärme

bei der Sättigung rasch mit der Sättigungstemperatur  $T_s^0$  und läßt sich, wenn  $T_c^0 = 638^0$  (nach Cailletet und Colardeau) die sog. kritische Temperatur bedeutet, schreiben:

$$c_p = 0,41 + \frac{2,52 \cdot 10^8}{(T_c - T_s)^4}. \quad (10)$$

Als mittlerer Wert kann gesetzt werden:  $c_p = 0,477$ . Die Annahme einer konstanten Größe für  $c_p$  ist aber nur für geringere Drücke bis etwa 8 Atmosphären zulässig. Auch der Wert  $c_p = 0,477$  ist durch neuere Versuche unsicher geworden, wahrscheinlicher liegt der mittlere Wert in der Nähe von 0,6.

b) Überhitzter Wasserdampf entsteht, wenn man den gesättigten Wasserdampf in einen besonderen Behälter leitet und weitere Wärme zuführt. Dabei steigt die Temperatur weit schneller als sein Volumen und seine Spannung, so daß bei überhitztem Wasserdampf ein Sinken der Temperatur eintreten kann, ohne daß die Spannung wesentlich beeinflußt wird. Die Glg. (1), S. 8, gilt mit  $k = 1,3$  auch für überhitzten Dampf.

Die Temperaturzunahme über die demselben Druck entsprechende Temperatur des gesättigten Dampfes bezeichnet man als Überhitzung.

Da durch Überhitzung bei gleicher Spannung das Volumen des Dampfes steigt, so ist auch das spezifische Volumen größer als für gesättigten Dampf. Die Zunahme des spezifischen Volumens ist bei gleicher Temperaturzunahme nur klein, vgl. Zahlentafel 3.

Die spezifische Wärme  $c_p$  für überhitzten Dampf wächst in der Nähe der Sättigung schnell mit dem Druck, für hohe Überhitzungstemperaturen jedoch bei gleicher Drucksteigerung langsamer.

Unter der Annahme einer konstanten spezifischen Wärme  $c_p = 0,4805$  ist nach Zeuner die Beziehung zwischen  $p$  kg/qcm Druck,  $V$  cbm/kg Volumen und  $T^0$  Temperatur:

$$pV = 50,933 T - 192,5 \sqrt[4]{p}. \quad (11)$$

1 cbm gesättigten Dampfes enthält bei gleichem Druck eine größere Wärmemenge als überhitzter Dampf, unter denselben Umständen hat letzterer ein kleineres spezifisches Gewicht, größeres spezifisches Volumen und höhere Temperatur oder bei der Annahme gleichen Gewichts und gleichen spezifischen Volumens einen höheren Druck und höhere Temperatur.

$\alpha$ ) Zugunsten der Verwendung überhitzten Dampfes sprechen folgende Umstände. Unter sonst gleichen Verhältnissen lassen sich wegen seines größeren spezifischen Volumens kleinere, also leichtere Kessel verwenden, wie bei der Verwendung von gesättigtem Dampf. Die bei Fortleitung in Rohren auftretenden Verluste durch Reibung werden geringer, die durch Kondensation fallen fort, so daß Wasserabscheider, Kondenstöpfe usw. nicht erforderlich werden und da Wärmeaufnahme und -abgabe bei überhitztem Dampf langsamer vor sich gehen, als bei gesättigtem, auch wegen der größeren zulässigen Dampfgeschwindigkeiten (bis nahezu 90—100 m sekundlich), die Rohrquerschnitte kleiner ausfallen können, so lassen sich auch die Temperaturverluste in den Leitungen auf 0,6—0,8°C für 1 m Rohrlänge vermindern, was aber große Überlegenheit gegenüber gesättigtem Dampf kaum bedeutet.

Mit steigender Überhitzung wächst auch im allgemeinen die Wirtschaftlichkeit, da der Wärmeverbrauch für 1 PS stündlich sinkt. Jedoch wird, trotz der erwähnten Vorteile, der wirtschaftliche Nutzen durch Überhitzung oft ganz

erheblich überschätzt. Im allgemeinen kann angenommen werden, daß der Dampfverbrauch für je  $10^{\circ}\text{C}$  Überhitzung um etwa 0,8—1,4% sinkt.

$\beta$ ) Bei der Bewertung der Überhitzung sollte man niemals von dem spezifischen Dampfverbrauch, sondern stets von dem Wärmeverbrauch ausgehen, da die zur Überhitzung erforderliche Wärme nicht umsonst gewonnen wird. Der Wirkungsgrad eines Dampfkessels mit Überhitzer ist nicht größer als der eines solchen, der gesättigten Dampf liefert.

Im allgemeinen ergibt sich, wenn statt gesättigten Dampfes überhitzter Dampf von  $\approx 300^{\circ}\text{C}$  verwendet wird, ein wirtschaftlicher Gewinn von  $\approx 5\%$ , und um die Wärmeeausnutzung um 1% zu erhöhen, muß man mit einer Überhitzung von  $\approx 20^{\circ}\text{C}$  rechnen.

Überhitzungstemperaturen von  $300\text{—}350^{\circ}\text{C}$  sind vielfach in Verwendung.

Die Überhitzung wird während der Arbeitsleistung beim Durchströmen der Dampfturbine und von den Wandungen aufgezehrt, und der in den Kondensator tretende Dampf ist daher gesättigt.

Schon beim Durchströmen durch eine Turbine kann trotz der Überhitzung des Dampfes eine Kondensation eintreten, sobald die Temperatur der Wandungen geringer ist, als die Sättigungstemperatur bei der vorhandenen Dampfspannung.

Die Gesamtwärme des überhitzten Dampfes läßt sich aus Temperatur und Druck ermitteln, ebenso die für den gesättigten Frischdampf, und der Unterschied beider ergibt das praktische Wärmegefälle.

$\gamma$ ) Den Einfluß der Verwendung gesättigten und überhitzten Dampfes in bezug auf den Kohlenverbrauch  $K$  zeigt folgende Gegenüberstellung:

Arbeitet eine Turbine von  $N_e$  PS effektiver Leistung mit einem Druck  $p$  kg/qcm, einmal mit Sattedampf, das andere Mal mit um  $t^0$  C überhitztem Dampf, und beträgt der Dampfverbrauch im ersten Falle  $G_1$  kg, im zweiten  $G_2$  kg, so beträgt die durch Überhitzung herbeigeführte Verminderung des Dampfverbrauchs:  $G_1 - G_2$  kg.

Es betrage bei  $f$  facher Verdampfung:

	ge- sättigter Dampf	überhitzter Dampf
die Erzeugungswärme .....	$\lambda_1$	$\lambda_2$
also der Wärmeverbrauch für 1PS/stdl. ....	$G_1 \lambda_1$	$G_2 \lambda_2$
die Gesamtdampfmenge .....	$N_e G_1$	$N_e G_2$
der Kohlenverbrauch für die Dampferzeugung .....	$N_e G_1 : f$	$N_e G_2 : f$
der Kohlenverbrauch für 1PS/stdl.	$N_e G_1 : f N_e$	$\frac{N_e G_2 : f}{(N_e G_2 : f) + K}$

wenn  $K$  kg Kohle für die Überhitzung aufzuwenden sind. Folglich ist die für 1 PS, stdl. durch Überhitzung herbeigeführte Kohlenersparnis in kg:

$$\frac{N_e G_1}{f N_e} - \frac{\frac{N_e G_2}{f} + K}{N_e} = \frac{G_1}{f} - \left[ \frac{G_2}{f} + \frac{K}{N_e} \right]. \quad (12)$$

6. Entropie. Ebensogut wie sich eine geleistete Arbeit durch das Produkt aus einer Kraft in kg und deren Weg in m gemessen, ausdrücken läßt, kann sie durch die dieser Arbeitsleistung gleichwertige Wärmemenge dargestellt werden, die zur Temperaturerhöhung der Masse eines Körpers, z. B. Wasser, nötig ist, weil die für die Temperatursteigerung von 1 kg Wasser um  $1^0$  C erforderliche Arbeits-

menge durch die einer Wärmeeinheit (WE) entsprechende Größe dargestellt wird, die 427 mkg um 1 m zu heben vermag.

Eine Wärmemenge  $Q$  WE läßt sich durch eine Fläche darstellen, wenn die absolute Temperatur  $T$  sowie eine bestimmte Funktion  $S$ , von Clausius als Entropie bezeichnet, als Koordinaten zugrunde gelegt werden.

$S$  bezeichnet demnach das Verhältnis der zugeführten unendlich kleinen Wärmemenge  $dQ$  zu  $T$ .

a) Um sich den Begriff der Entropie zu verdeutlichen, ist besonders die Eigenschaft des Arbeit leistenden Wasserdampfes von Wichtigkeit, daß seine Temperatur dabei sinkt.

Ein Vergleich mit der Arbeitsleistung in mkg eines von einer Höhe  $h_1$  m auf eine Höhe  $h_2$  m sinkenden Gewichts  $P$  kg mit der gleichwertigen Arbeitsleistung durch die Wärme wird den Begriff der Entropie erläutern.

Das Gewicht  $P$  kg leistet beim Sinken die Arbeit:

$$L = P (h_1 - h_2) = P h \text{ mkg,}$$

mithin ist:

$$P = L : (h_1 - h_2) = L : h \text{ kg.}$$

Ist dementsprechend eine Arbeit, die durch  $Q$  WE also 427  $Q$  mkg ausgedrückt wird, dadurch geleistet worden, daß die absolute Anfangstemperatur  $T_1$  auf die Endtemperatur  $T_2$  gesunken ist, so ließe sich ganz analog schreiben:

$$Q = S (T_1 - T_2) \text{ WE; } S = Q : (T_1 - T_2) = Q : T. \quad (13)$$

Was die Quantität  $S$  ist, ist uns unbekannt, da sie mit den Sinnen nicht wahrnehmbar ist, jedenfalls spielt sie eine dem Gewicht  $P$  entsprechende Rolle, und der Beweis ihres Vorhandenseins ist dadurch geliefert, daß bei dem Temperaturabfall tatsächlich Arbeit geleistet wird.

In beiden Fällen findet eine Umformung statt, denn im Falle des sinkenden Gewichts verschwindet ein Teil der

aufgespeicherten potentiellen Energie, um sich in äußere Arbeit umzusetzen, während ganz entsprechend ein Teil der aufgespeicherten Wärmemenge verschwindet, um ebenfalls in Arbeit umgeformt zu werden, während die nicht umgesetzte Energie aufgespeichert und der übrige Teil der Wärme bestehen bleibt.

Demnach stellt, allgemein ausgedrückt, nach Glg. (13) das Produkt aus Temperatur und Entropiezunahme eine in WE zugeführte Wärmemenge dar, wie das Produkt aus Kraft und Weg eine Arbeit (mkg) bestimmt.

b) Um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  C in gesättigten Dampf von  $t^{\circ}$  C, dem entsprechenden Druck von  $p$  kg/qcm und dem dazugehörigen Volumen  $V$  cbm/kg zu verwandeln, muß das Wasser zunächst auf die Temperatur von  $100^{\circ}$  C gebracht werden. Dabei findet eine Steigerung der Entropie statt, deren Größe nach Callendar für trocknen gesättigten Dampf aus:

$$S = 0,477 \ln T - 0,11 \ln p - 1,0544 - p y_3 \quad (14)$$

mit

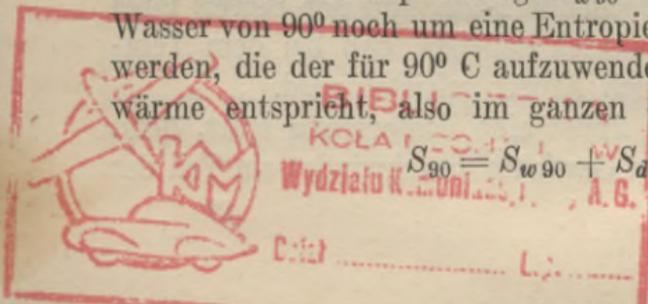
$$y_3 = \frac{10000}{427} \cdot \frac{10}{3} \frac{1}{T} \cdot 0,075 \left( \frac{273}{T} \right)^{\frac{10}{3}} \quad (15)$$

zu bestimmen ist.

Die Werte von  $S$  für Wasser und Dampf und auch die von  $y_3$  finden sich in Zahlentafel 1, 2.

Würde man das Wasser, das z. B. auf  $90^{\circ}$  C erwärmt ist, in Dampf von  $90^{\circ}$  C verwandeln wollen, so müßte der erforderliche Entropiebetrag  $S_{w90}$  zur Erzeugung von Wasser von  $90^{\circ}$  noch um eine Entropiegröße  $S_{d90}$  gesteigert werden, die der für  $90^{\circ}$  C aufzuwendenden Verdampfungswärme entspricht, also im ganzen eine Entropie:

$$S_{90} = S_{w90} + S_{d90}. \quad (16)$$



Für adiabatische Expansion ist die vorhandene Wärmemenge

$$Q = \text{Konstant, also } dQ = 0, \text{ demnach } dS = 0,$$

d. h. die Größe der Entropie bleibt unändert.

c) Einer unendlich kleinen Wärmemenge  $dQ$ , die vom Dampf bei konstanter Temperatur  $T$  aufgenommen oder abgegeben wird, entspricht der Entropiebetrag  $dS$ , folglich:

$$dQ = T \cdot dS \quad (17)$$

oder:

$$S = \int \frac{dQ}{T}. \quad (17a)$$

Zwischen zwei Temperaturen bedeutet die Entropie stets ein bestimmtes Integral.

Sind die Beziehungen zwischen der Wärmemenge und der Temperatur bekannt, so läßt sich die Größenänderung der Entropie aus den Anfangs- und Endtemperaturen ermitteln, ohne daß die absoluten Werte der Entropie für den Anfangs- und Endzustand bekannt zu sein brauchen.

Die Größe der Entropie wächst, wird kleiner oder bleibt unveränderlich, je nachdem der Wärmehalt eines flüssigen oder dampfförmigen Körpers sich in derselben Weise ändert.

Wie die Zahlentafel 1, zeigt, wächst die Entropie des Wasserdampfes mit sinkendem Druck, und sie ist für Wasser kleiner, als für Dampf.

Da nun die Gesamtentropie sich nicht ändert, muß bei der adiabatischen Expansion des Wasserdampfes ein Teil des Dampfes in Wasserform übergehen. Bezeichnen  $S_w$ ,  $S_{d_1}$  und  $S_{d_2}$  die Entropien des Wassers und des gesättigten Dampfes im Anfangs- und Endzustand,  $x$  die nach vollen-

deter Ausdehnung vorhandene Wassermenge, also  $1 - x$  die spezifische Dampfmenge, so folgt:

$$S_{d1} = S_w x + S_{d2}(1 - x). \quad (18)$$

Hieraus folgt:

$$x = \frac{S_{d2} - S_{d1}}{S_{d2} - S_w} \quad (19)$$

und das Dampfvolumen  $V^1$  cbm/kg des Gemisches nach der Expansion vom Druck  $p_1$  auf  $p_2$  kg/qcm, die den Dampfzuständen entsprechen, ist:

$$V^1 = V_2 \left( 1 - \frac{S_{d2} - S_{d1}}{S_{d2} - S_w} \right). \quad (20)$$

Beispiel: Für

$p_1 = 12$  kg/qcm ist  $S_{d1} = 1,5678$ , Zahlentafel 1,

$p_2 = 0,2$  kg/qcm ist  $S_{d2} = 1,889$ , Zahlentafel 1,

ferner ist  $t_2 = 59,8^\circ$  C, und für die gleiche Temperatur des Wassers  $S_w = 0,1984$ , folglich:

$$1,5678 = 1,889 x + 0,1984 (1 - x)$$

$$x = \frac{1,889 - 1,5678}{1,889 - 0,1984} = 0,19,$$

d. h. im Endgemisch sind 19% Dampf zu Wasser kondensiert, siehe Beispiel S. 14.

Für trocknen gesättigten Dampf ist  $x = 0$ .

Ist  $V_2 = 7,777$  cbm/kg nach Zahlentafel 1, das dem Enddruck  $p_2$  entsprechende Volumen gesättigten Dampfes, so ist die im Endvolumen vorhandene Dampfmenge:

$$V^1 = 7,777 \cdot (1 - 0,19) = 6,03 \text{ cbm/kg.}$$

Bei adiabatischer Expansion trocknen gesättigten Dampfes von  $p_1$  auf  $p_2$  kg/qcm läßt sich der spezifische Dampfgehalt auch ermitteln aus:

$$1 - x = (p_2 : p_1)^{0,0579}. \quad (21)$$

## 7. Graphische Darstellungen der Zustandsänderungen des Wasserdampfes.

a) In dem Druckvolumen-Diagramm, dem sog.  $pv$ -Diagramm, Abb. 2, dessen Abszissen die Dampfvolumina, dessen Ordinaten die entsprechenden Dampfdrücke darstellen, ist die Fläche  $abcde$  proportional der geleisteten Arbeit des Dampfes, und ihre Größe hängt von dem Unterschied der bei verschiedenen Dampfzuständen vom Dampf eingenommenen Volumina ab. Eine Darstellung der im Dampf vorhandenen Wärmemenge und ihrer Bewegung bei den Zustandsänderungen ist im  $pv$ -Diagramm nicht möglich. Näheres s. Sammlung Göschen, Bd. Nr. 242.

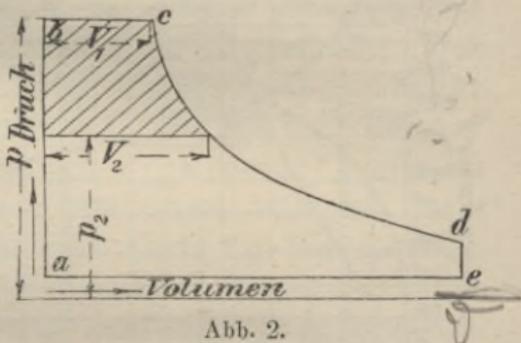


Abb. 2.  
 $pv$ -Diagramm.

b) Das Entropiediagramm. Trägt man die den Zustandsänderungen des Dampfes entsprechenden Änderungen der absoluten Temperatur als Ordinaten, die Änderung der Entropie als Abszissen auf, so muß nach Glg. (17), S. 21, die eingeschlossene Fläche proportional der aufgenommenen oder abgegebenen Wärmemenge während der Zustandsänderungen sein, und umgekehrt hängt die Bewegung der Wärmemenge von der Änderung der Entropie ab.

Das Entropiediagramm gibt also ein Bild der Beziehungen zwischen Temperatur, der Größe der Bewegung der Wärmemenge und den Schwankungen der Entropie, aber nicht über die geleistete oder aufgenommene Arbeit.

$\alpha$ ) In Abb. 3 ist das Entropiediagramm für gesättigten Wasserdampf dargestellt.

Unter der Voraussetzung, daß die Entropie des Wassers bei 0° C Null sei, stellt  $o m$  die Entropiekurve des Wassers für die verschiedenen Temperaturen dar, wobei die Abszissen, d. h. die Abstände von  $oy$  die Entropiewerte nach Zahlen-  
 tafel 1 bedeuten,  $o_1 n$  ist die Entropiekurve des gesättigten

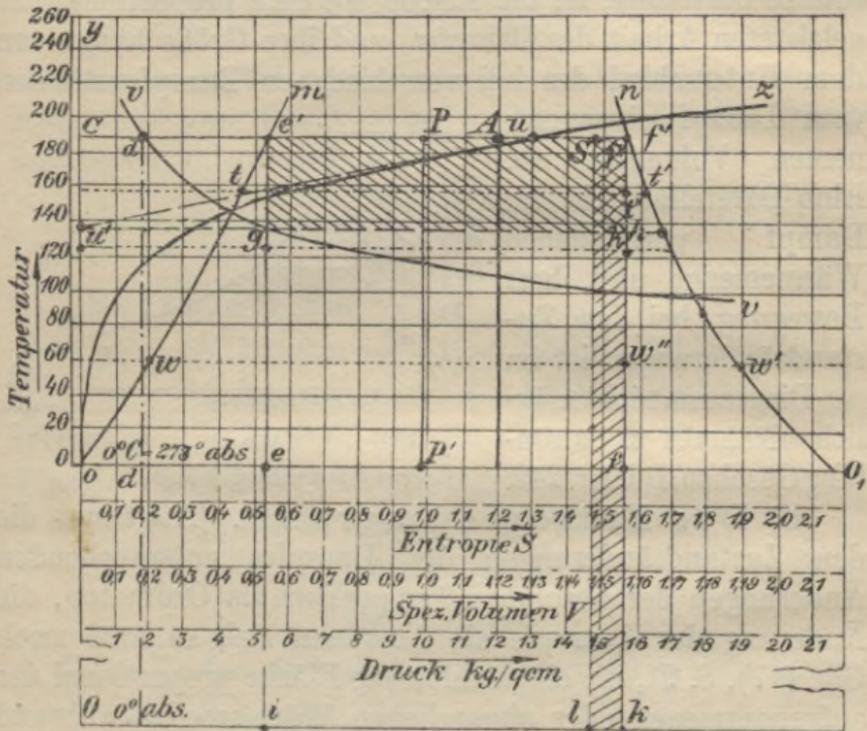


Abb. 3.  
 Entropiediagramm.

Dampfes, während  $oz$  seiner Temperaturkurve entspricht mit den Temperaturen als Ordinaten, ferner stellt  $vv$  die Kurve der spezifischen Volumina dar.

Für einen Dampfzustand  $A$ , bei dem absoluten Druck  $p = 12 \text{ kg/qcm}$ ,  $t = 186,9^\circ\text{C}$ ,  $T = 273 + 186,9 = 459,9^\circ$ , ist  $oc = 186,9^\circ\text{C}$ ,  $Oc = 459,9^\circ$ ,  $od = V = 0,1678 \text{ cbm/kg}$ ,  $oe = 0,5282$  die Entropie des Wassers und  $of = 1,5678$

diejenige des gesättigten Dampfes. Die Strecke  $ef$  stellt das Verhältnis der gesamten Verdampfungswärme  $r$ , d. h. der Summe der inneren Verdampfungswärme  $\rho$  und der äußeren  $\sigma$  zur absoluten Temperatur da. Es ist:

$$ef = r : T = (\rho + \sigma) : T.$$

Rechteck  $ie'f'k$  gibt eine Darstellung der gesamten Verdampfungswärme  $r$ .

Um die innere Verdampfungswärme  $\rho$  darzustellen, ziehe man in dem Schnittpunkt  $u$  der Horizontalen durch die Ordinatenachse  $oy$  bei  $186,9^{\circ}$  und der Temperaturkurve  $oz$  eine Tangente, die  $oy$  in  $u'$  schneidet und dann durch  $u'$  eine Horizontale. Das Rechteck  $e'f'gh$  oder  $lsf'k$  gibt ein Bild der äußeren Verdampfungswärme, während  $Ooe'sl$  die dem Dampf innewohnende Energie  $q + \rho$  darstellt. Die Fläche  $Ooe'i$  ist proportional der Flüssigkeitswärme  $q$  WE, um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  C auf  $186,9^{\circ}$  C zu erwärmen.

Im Punkt  $e'$  beginnt das Wasser zu verdampfen, und von diesem Augenblick an dient die zugeführte Wärme allein dazu, um die Kohäsion der Wassermoleküle und den äußeren, der Volumenvergrößerung entgegenwirkenden Druck zu überwinden, und da die Temperatur sich während dieses Vorganges nicht ändert, läßt sich die spezifische Wärme trotz der zugeführten Wärmemenge als unendlich groß ansehen. Im Punkte  $f'$  ist die Verdampfung beendet und das Rechteck  $ie'f'k$  ist proportional der gesamten Verdampfungswärme  $r$ . Die Entropie ist während der Verdampfung um  $e'f'$  gewachsen oder um  $r : T$ , so daß die Entropie des trocknen, gesättigten Dampfes beträgt:

$$\text{Entropie des Wassers} + \frac{\text{gesamte Verdampfungswärme}}{\text{absolute Temperatur}}$$

$$S_d = S_w + r : T \quad (22)$$

Durch den Punkt  $P$  der Strecke  $e'f'$  wird ein Dampfzustand dargestellt, bei dem das Verhältnis zwischen dem Gewicht des im Gemisch vorhandenen Wassers zu dem des Dampfes durch das Verhältnis  $Pf' : e'P = x$  charakterisiert wird.

Im Entropiediagramm bedeutet die Fläche  $Ooe'PP'$  die im Dampf-Wassergemisch enthaltene Wärmemenge und  $S_w + (1 - x)r : T$  den entsprechenden Wert der Entropie.

$\beta$ ) Die **a d i a b a t i s c h e** **Z u s t a n d s ä n d e r u n g** im Entropiediagramm kennzeichnet sich, da dabei  $S = 0$  ist, durch den Übergang eines Zustandpunktes in einen anderen, der mit ihm auf einer **S e n k r e c h t e n** zur  $X$ -Achse liegt.

Expandiert demnach Dampf adiabatisch von  $p_1 = 12$  kg/qcm,  $t_1 = 186,9^\circ$  C auf  $p_2 = 6$  kg/qcm,  $t_2 = 157,6^\circ$  C, so geht der Punkt  $f'$  in die Lage  $t''$  über. Diesem Zustand entspricht ein Verhältnis des Wasser- zum Dampfgewicht des Gemisches  $t't'' : tt''$ . Bei der Expansion auf 0,2 kg/qcm,  $t = 59,8^\circ$  C würde das entsprechende Verhältnis  $w'w'' : ww''$  sein.

Das Entropiediagramm läßt sich auch zur Darstellung der Zustandsänderungen überhitzten Dampfes benutzen.

$\gamma$ ) Die **B e r e c h n u n g** der **E n t r o p i e** des **ü b e r h i t z t e n** **D a m p f e s** kann nach Glg. (14) erfolgen, indem für  $T$  die absolute Überhitzungstemperatur gesetzt wird.

**B e i s p i e l:** Wie groß ist die Entropie von 1 kg überhitztem Dampf von  $300^\circ$  C, wenn der gesättigte Dampf, aus dem er entstand, den Zustand  $p_1 = 12$  kg/qcm,  $t_1 = 186,9^\circ$  C besaß.

Nach Glg. (14) ist, da nach Zahlentafel 2 :  $y_3 = 0,00086$ , für  $t = 300^\circ$  C,

$$S = 0,477 \ln (300 + 273) - 0,11 \ln 12 - 1,0544 \\ - 12 \cdot 0,00086, S = 1,6913$$

δ) In Abb. 4 ist die Kurve  $oj$  eingetragen, die die Zunahme der Entropie für verschiedene Überhitzungsgrade darstellt, unter der Annahme, daß  $c_p = 0,48$  konstant ist,

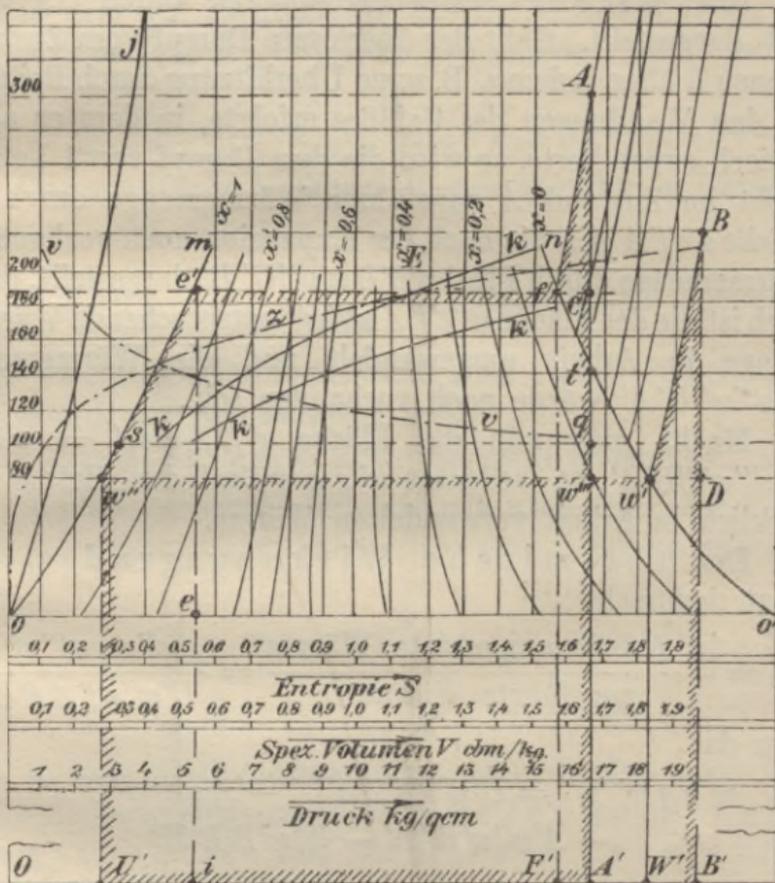


Abb. 4.  
Entropiediagramm.

vgl. S. 16. Wird z. B. gesättigter Dampf vom Zustand  $f_1$  ( $p_1 = 12$  kg/qcm,  $t = 189,6^\circ$  C) auf  $300^\circ$  C überhitzt, so erhält man den Zustand des gesättigten Wasserdampfes im Punkt  $A$ , als Schnittpunkt der parallel um sich selbst verschobenen Kurve  $oj$  mit der Horizontalen durch  $300^\circ$ , ebenso in  $B$  den

Zustand von auf  $220^{\circ}\text{C}$  überhitztem Dampf, der aus gesättigtem Dampf vom Zustande  $w_1$  ( $p_1 = 0,5 \text{ kg/qcm}$ ,  $t_1 = 80,9^{\circ}\text{C}$ ) entstand. Die Zunahme der Entropie wird durch die Strecken  $f'C$  bzw.  $w'D$ , die Temperaturzunahme durch  $CA$  bzw.  $DB$  dargestellt. Geht der überhitzte Dampf vom Zustand  $A$  nach  $B$  über, indem z. B. seine Überhitzung durch Reibung an den Wandungen des Gefäßes erfolgte, in dem er adiabatisch expandierte, so wird die dem Dampf von 1 kg Gewicht im Zustand  $A$  zugeführte Wärmemenge durch die Fläche  $i e'f' A A' i$ , die nach der Expansion noch vorhandene Wärmemenge durch Fläche  $B' B w' w'' U' B'$  dargestellt, demnach ist die der Fläche  $w'' e'f' A w''' w''$  entsprechende Wärmemenge in Arbeit umgewandelt und die Wärmemenge  $A' w''' w'' U' A'$  würde noch vorhanden sein.

Macht man nun die Fläche  $e'f' A q s e' =$  gleich  $A' w''' w' B B' A'$ , so bedeutet  $w'' s q w''' w''$  den Betrag der wirklich in Arbeit verwandelten Wärme.

Der thermische Wirkungsgrad  $\eta_t$  beträgt demnach:

$$\eta_t = \frac{\text{in Arbeit umgesetzte Wärme}}{\text{zugeführte Wärme}} = \frac{w'' s q w''' w''}{U' w' e'f' A A' U'}$$

oder da:

$$\begin{aligned} w'' s q w''' w'' &= U' w' e'f' A A' U' - A' w''' w'' U' A' \\ &\quad - A' w' w' W' A' - W' w' B B' W' \\ \eta_t &= 1 - \frac{A' w''' w'' U' A' + A' w' w' W' A' + W' w' B B' W'}{U' w' e'f' A A' U'} \end{aligned}$$

Der Schnittpunkt  $t$  der adiabatischen Expansionslinie  $AA_1$  mit der Sättigungskurve  $o'n$  ergibt den Druck und die Temperatur, bei denen der anfangs in  $A$  überhitzte Dampf in den trocknen, gesättigten Zustand übergeht.

Beispiel: Wieviel % kondensierten Wassers ent-

stehen aus auf 300° C überhitztem Wasserdampf von  $p_1 = 12$  kg/qcm Spannung, der in den Zustand  $p_2 = 0,2$  kg/qcm übergeht, wie groß ist das spezifische Volumen  $V$  und die kinetische Energie?

Es war die Entropie  $S_{d1} = 1,6913$ , S. 26, ferner ist  $S_{d2} = 1,889$  und  $S_{w2} = 0,1984$  nach Zahlentafel 1, mithin gilt:

$$S_{d1} = S_{d2}(1 - x) + S_{w2}x, \text{ also: } x = 0,117 = 11,7 \%$$

Das spezifische Volumen  $V_0$  des überhitzten Dampfes folgt aus Glg. (7) zu:

$$V_0 = 0,001 + 47 \frac{573}{12 \cdot 10000} - 0,0048 = 0,2022 \text{ cbm/kg,}$$

nach der korrigierten Zahlentafel 3 zu  $V_0 = 0,232$  cbm/kg.

Das spezifische Volumen wird:

$$V = V_2(1 - x) = 7,777 \cdot 88,3 = 6,85 \text{ cbm/kg.}$$

Für die kinetische Energie gilt nach Glg. (5):

$$\lambda_1 = 594,7 + 0,477 \cdot 300 - 12 \cdot 0,62 = 729,56 \text{ WE,}$$

ferner:

$$\lambda_2 = 622,4 \text{ WE und } q_2 = 59,9 \text{ WE,}$$

folglich:

$$\lambda_1 - \lambda_2(1 - x) - q_2 \cdot x = 174,76 \text{ WE.}$$

In dem Entropiediagramm, Abb. 4, sind noch zwei Kurvenscharen eingetragen, die Kurven konstanten Dampfgehalts und die Kurven konstanten Volumens.

Die Kurven konstanten Dampfgehalts ergeben sich, wenn man die Strecken, die für die einzelnen Temperaturen den Werten, Verdampfungswärme  $r$ : absolute Temperatur  $T$  entsprechen (für  $p = 12$  kg/qcm z. B.  $ef = e'f'$ ), in eine Anzahl gleicher Teile teilt, so daß die die Teilpunkte verbindenden Kurven Mischungen mit gleichem

spezifischen Dampfgehalt darstellen, in Abb. (4) sind die Kurven für  $x = 0,1$  bis  $x = 0,9$  eingetragen. Für die Entropiekurve  $om$  ist  $x = 1$ , für  $on$ ,  $x = 0$ .

Um die Kurven konstanten Volumens einzutragen, hat man sich zu vergegenwärtigen, daß, wenn für 1 kg gesättigten Dampf vom Druck  $p_1$  kg/qcm das spezifische Volumen  $V_1$  cbm/kg beträgt, der Dampf jedoch nur ein Volumen  $V_2$  einnehmen soll, wobei  $V_2 < V_1$ , die Menge des kondensierten Wassers:

$$x = 100 \left( 1 - \frac{V_2}{V_1} \right) \%$$

beträgt. Man hat daher die die Werte  $r : T$  darstellenden Strecken (für  $p = 12$  kg/qcm, also  $e'f'$ ) durch einen Punkt  $E$  so zu teilen, daß  $f'E : e'f' = x : 100$  wird. Die Verbindungslinien der entsprechenden Punkte für  $V_2 = 0,1, 0,2, 0,3 \dots$  cbm/kg ergeben dann die Kurven konstanten Volumens  $kk$ .

Neben dem Entropiediagramm sind die Zustandsänderungen des Wasserdampfes von verschiedenen Autoren durch Diagramme dargestellt worden, so von Banki, Proell und Mollier; letzteres hat weite Verbreitung gefunden.

c) Das  $IS$ -Diagramm von Mollier, Abb. 5.

In dieser Darstellung sind die Entropiewerte als Abszissen, die Wärmeeinheiten als Ordinaten aufgetragen. Bei adiabatischer, reibungsfreier Expansion des Dampfes wird die Zu- oder Abführung einer bestimmten Wärmemenge durch eine vertikale Strecke im Maßstab der Wärmeeinheiten von dem Anfangszustand des Dampfes aus ausgedrückt.

Der Übergang von überhitztem in den gesättigten Zustand wird durch die Grenzkurve  $GG$  dargestellt. Ein bestimm-

ter Dampfzustand wird durch den Schnittpunkt der eingezeichneten Kurven konstanten Drucks mit denen konstanter Temperatur dargestellt, so bedeutet z. B. Punkt *A* einen Dampfzustand, dem Druck  $p = 14 \text{ kg/qcm}$  und  $t = 300^\circ$

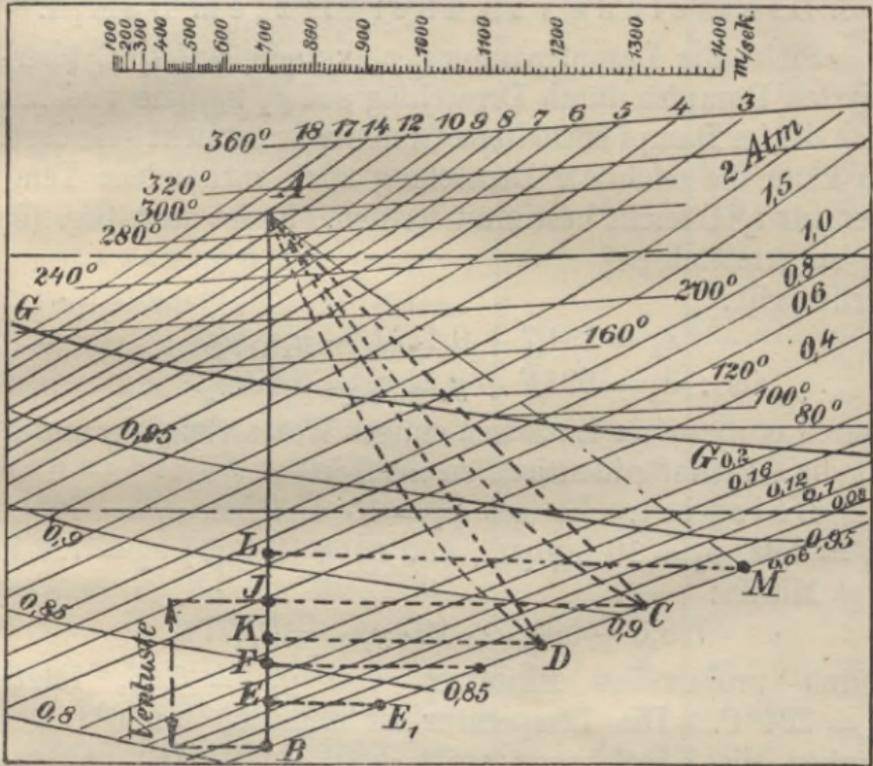


Abb. 5. *IS*-Diagramm von Mollier.

*GG* Grenzlinie, *AB* Adiabatisches Wärmegefälle, *BE* Düsenverluste, *ET* Lauf-  
radverlust, Umfangswirkungsgrad  $\eta_i = AI : AB$ , *IL* Verluste durch Scheiben-  
reibung und Ventilationsarbeit, vergl. weiter unten.

Überhitzung entsprechend, Punkt *B* den Zustand  $p = 0,06 \text{ kg/qcm}$ , in gesättigtem Zustand und Strecke *AB* die Anzahl der bei dieser Zustandsänderung abgeführten Wärme-  
einheiten, das W ä r m e g e f ä l l e. Der beigegefügte Maß-  
stab dient zur Ermittlung der diesem Gefälle entsprechenden

Strömungsgeschwindigkeit bei der Umsetzung des Wärmegefälles in kinetische Energie, vergl. weiter unten.

Außerdem sind im Sättigungsgebiet die Kurven gleicher Dampfmenge eingetragen.

### 8. Drosselung von überhitztem Dampf.

Sinkt die Dampfspannung  $p_1$  kg/qcm auf  $t_1^0$  C überhitzten Dampfes durch Drosselung auf  $p_2$  kg/qcm und hat sich die im Dampf enthaltene Gesamtwärme nicht geändert, so kann die nach der Drosselung noch vorhandene Temperatur  $t_2^0$  C leicht bestimmt werden. Es ist nach Glg. (5)  $\lambda_1$  zu ermitteln, ferner gilt:

$$\lambda_2 = 594,7 + 0,477 t_2 - y_{1(2)} p_2,$$

$$\text{also: } \lambda_2 - 594,7 + y_{1(2)} p_2 = 0,477 t_2$$

Durch probeweises Einsetzen einiger Werte von  $y_{1(2)}$  und  $t_2$  ist die Gleichung identisch zu machen.

Beispiel: Es sei  $p_1 = 15$  kg/qcm,  $t_1 = 300^0$  C,  $y_1 = 0,62$ ,  $p_2 = 10$  kg/qcm, und nach Glg. (5)  $\lambda_2 = 728,5$ .

Mithin:

$$728,5 - 594,7 + 10 \cdot y_{1(2)} = 0,477 t_2,$$

durch probeweises Einsetzen von  $y_{1(2)} = 0,66$ , folgt:  $t_2 = 294^0$  C. Die Temperatur ist demnach um  $6^0$  C gesunken, die Überhitzung um  $t_3 = (t_2' - t_1') - (t_2 - t_1)$  gestiegen, wenn  $t_1'$  und  $t_2'$  die Temperaturen des trocknen gesättigten Dampfes vom Druck  $p_1$  bzw.  $p_2$  kg/qcm bedeuten. In dem Beispiel wird  $t_3 = (197,2 - 178,9) - (300 - 294) = 12,3^0$  C.

Um den Einfluß der Drosselung zu übersehen, sei angenommen, daß für die normale Belastung einer Turbine der Anfangsdruck  $p_1 = 8,5$  kg/qcm sei und für eine Überlastung von 50%  $p_1 = 12$  kg/qcm, die Überhitzungstemperatur  $t_1 = 250^0$  C betrage.

Bei einem Gegendruck  $p_2 = 0,06$  kg/qcm absolut ergibt sich dann bei verschiedenen Belastungen nebenstehende Übersicht, die die Verkleinerung der Arbeitsfähigkeit des Dampfes zeigt, wie sich auch im Diagramm von Mollier, S. 31, nachweisen läßt.

### 9. Ausströmung des Wasserdampfes.

a) Leistet eine in einem Zylinder eingeschlossene Dampfmenge vom Gewicht  $G$  kg und dem Zustand  $p_1, t_1, V_1$  mechanische Arbeit, indem ihr Druck durch adiabatische Expansion in den Zustand  $p_2, t_2, V_2$  übergeht, so wird die geleistete mechanische Arbeit im  $p v$ -Diagramm, Abb. 2, durch die schraffierte Fläche dargestellt. Genau dieselbe Arbeitsmenge würde frei werden, wenn der Dampf aus dem Zylinder in einen Raum ausströmt, in dem der Druck  $p_2$  herrscht. Ist die Ausströmgeschwindigkeit  $c_1$  m, so beträgt die dem Dampf erteilte lebendige Kraft oder kinetische Energie:

	Belastung					0,8 kg/qcm Leerlauf
	$p_1 = 12$ Erzeugungswärme 704 WE	8,5 100 %	6,5 75 %	4,5 50 %	2,5 25 %	
Gefälle WE ...	200 (100 %)	188 (94 %)	179 (89 %)	167 (83 %)	147 (74 %)	109 (55 %)
Verlust an Gefälle WE ...	0 (0 %)	12 (6 %)	21 (11 %)	33 (17 %)	53 (26 %)	91 (45 %)
Spez. Vol. cbm/kg	0,197 (100 %)	0,278 (141 %)	0,364 (185 %)	0,53 (269 %)	0,95 (488 %)	3 (1530 %)

$$L = \frac{G}{g} \frac{c_1^2}{2} \text{ mkg} \quad (23)$$

oder in WE ausgedrückt:

$$i = \frac{1}{427} L = \frac{1}{427} \frac{c_1^2}{2g} \text{ WE.} \quad (24)$$

Die Geschwindigkeit  $c_0$ , die der Dampf beim Eintritt in den Zylinder besaß, werde vernachlässigt. Berücksichtigt man sie, so wäre

$$L + \frac{c_0^2}{2g} = \frac{c_1^2}{2g} \text{ mkg,}$$

also:

$$c_1 = \sqrt{2gL + c_0^2} \text{ m.} \quad (25)$$

Da der Wärmeaufwand  $i$  WE in Glg. 24 zur Ausströmung und Überwindung des Gegendrucks erforderlich ist, so können  $G$  kg Dampf vom Zustande  $p_2, t_2, V_2$  nur eine Erzeugungswärme  $i_2$  besitzen, die um den Betrag der Glg. (24) kleiner ist, als die im Zustand  $p_1, V_1$ , so daß das Wärmefälle sein muß:

$$i_1 - i_2 = \frac{1}{427} \cdot \frac{G}{2g} (c_2^2 - c_1^2) \text{ WE,} \quad (26)$$

also für 1 kg Dampf:

$$i_1 - i_2 = \frac{1}{427 \cdot 2g} (c_2^2 - c_1^2). \quad (26 a)$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Ausströmung durch eine Öffnung erfolgt, deren Gestalt die Entfaltung der vollen Geschwindigkeit, also die Erreichung der gesamten unter diesen Umständen möglichen kinetischen Energie, gestattet, ohne daß durch die Widerstände in der Ausströmungsöffnung Energie verloren geht und ohne daß,

außer dem zur Erzeugung der Strömung erforderlichen Arbeitsaufwand, äußere Widerstände bei der Expansion zu überwinden sind. Die in der Mündung erreichte kinetische Energie kann nun zur Überwindung äußerer Widerstände benutzt werden.

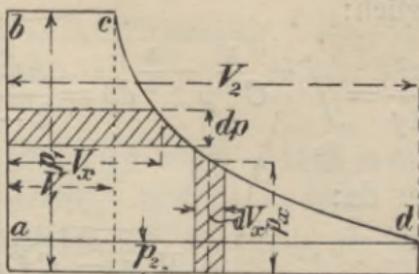


Abb. 6.

Ermittlung von  $c_1$ .

b) Die rechnerische Ableitung der Ausfluggeschwindigkeit ergibt sich, wenn der Dampf vor der Expansion gesättigt ist, nach Abb. 6 aus dem  $p$ - $v$ -Diagramm. Es ist:

$$\text{Fläche } abcd = \int p_x dV_x + p_1 V_1 - p_2 V_2$$

oder auch:

$$\text{Fläche } abcd = \int_{p_2}^{p_1} V_x dp.$$

Mithin nach Glg. (24)

$$L = \frac{c_1^2}{2g} = \int_{p_2}^{p_1} V_x dp.$$

Da nun:

$$pV^k = \text{Konst.} = C,$$

so wird für  $k > 1$ , da:

$$C^{\frac{1}{k}} = Vp^{\frac{1}{k}}$$

$$V = C^{\frac{1}{k}} : p^{\frac{1}{k}},$$

(27)

folglich:

$$\frac{c_1^2}{2g} = \int_{p_2}^{p_1} C^{\frac{1}{k}} p^{-\frac{1}{k}} dp = \frac{k}{k-1} \left[ p_1^{\frac{k-1}{k}} C^{\frac{1}{k}} - p_2^{\frac{k-1}{k}} C^{\frac{1}{k}} \right]$$

oder da:

$$V_1 p_1 = C^{\frac{1}{k}} = V_2 p_2^{\frac{1}{k}},$$

$$\frac{c_1^2}{2g} = \frac{k}{k-1} [p_1 V_1 - p_2 V_2] = \frac{k}{k-1} \cdot p_1 V_1 \left[ 1 - \frac{p_2}{p_1} \right]^{\frac{k-1}{k}}. \quad (28)$$

α) Mit  $k = 1,135$  für gesättigten Dampf und  $g = 9,81$  wird:

$$c_1 = 1280 \sqrt{p_1 V_1 - p_2 V_2} \quad (29)$$

oder:

$$c_1 = 1280 \sqrt{p_1 V_1 \left[ 1 - \frac{p_2}{p_1} \right]^{0,1188}} \quad (30)$$

β) Für überhitzt bleibenden Dampf mit  $k = 1,333$  folgt:

$$c_1 = 920 \sqrt{p_1 V_1 - p_2 V_2} = 920 \sqrt{p_1 V_1 \left[ 1 - \frac{p_2}{p_1} \right]^{0,23}}. \quad (31)$$

γ) Geht dagegen überhitzter Dampf während der Expansion in gesättigten Dampf vom Zustand  $p_s, V_s$  über, so wird, wenn  $p_2^1, V_2^1$  den Endzustand bezeichnet:

$$c_1^2 = 920^2 (p_1 V_1 - p_s V_s + 1280^2 (p_s V_s - p_2^1 V_2^1)). \quad (32)$$

Die Werte von  $V_1$  und  $V_s$  lassen sich aus Glg. (Abb. 7) oder direkt aus Zahlentafel (1) ermitteln,  $p_2^1, V_2^1$  aber entspricht nicht mehr trockenem gesättigten Dampf.

Beispiel: Wie groß ist die Ausflußgeschwindigkeit von anfänglich trockenem gesättigten Dampf vom Anfangsdruck  $p_1 = 12 \text{ kg/qcm}$ , der auf  $p_2 = 0,2 \text{ kg/qcm}$  expandiert?

Nach Zahlentafel 1 ist  $V_1 = 0,1678$  cbm/kg. Da  $p_1 : p_2 = 12 : 0,2 = 60$ , folgt nach Abb. 1,  $V_2^1 : V_1 = 26$ ,  $V_2^1 = 0,1678 \cdot 36 = 6,14$  cbm/kg,

folglich:  $c_1 = 1280 \sqrt{12 \cdot 0,1678 - 0,2 \cdot 6,14} = 1140$  m oder, da nach Zahlentafel 1:  $\lambda_1 = 668,1$  WE,  $\lambda_2 = 622,4$  WE,  $q_2 = 59,9$  WE und nach Beispiel S. 14,  $x = 0,19$ , so folgt:

$$L = \lambda_1 - \lambda_2 (1 - x) - q_2 x = 155 \text{ WE,}$$

mithin ebenfalls:

$$c_1 = \sqrt{2g \cdot 427 L} = 91,5 \sqrt{155} = 1140 \text{ m.}$$

Nach R a t e a u kann gesetzt werden:

$$c_1 = 100 \sqrt{530 : k} \quad (33)$$

worin:

$$k = 0,85 + \frac{6,95 - \log p_1}{\log p_1 - \log p_2}.$$

Für das Beispiel folgt  $k = 4,22$  und  $c_1 = \approx 1120$  m.

c) In Zahlentafel 4 sind für verschiedene Werte von  $p_1$  und  $p_2$  die Ausflußgeschwindigkeiten  $c_1$  für trockenen gesättigten Dampf zusammengestellt:

#### Zahlentafel 4.

Ausflußgeschwindigkeiten  $c_1$  in m für verschiedene Druckunterschiede.

End- druck $p_2$	Anfangsdruck $p_1$ kg/qcm														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,1	825	940	1005	1038	1080	1100	1124	1145	1151	1168	1185	1197	1205	1225	1228
0,2	700	840	910	960	994	1035	1055	1065	1080	1095	1120	1133	1140	1145	1160
0,3	610	770	850	900	940	970	980	1010	1030	1050	1070	1080	1090	1100	1125
1	—	480	610	690	740	780	810	830	860	880	910	920	930	940	960
2	—	—	370	500	565	620	660	690	725	750	775	790	820	824	845
3	—	—	—	325	440	500	550	590	620	650	680	715	730	745	765
4	—	—	—	—	270	380	450	510	540	580	610	630	655	675	710

## Zahlentafel 5.

Ausflußgeschwindigkeit  $c_1$  m/sek. für verschiedene Werte der in 1 kg Dampf enthaltenen kinetischen Energie  $L$  WE.

$L = 1$	2,5	4,5	7	10,5	14	19	24	30	36,5
$c_1 = 100$	150	200	250	300	350	400	450	500	550
$L = 43$	50,5	58	67	76,5	86,5	96,5	108	119	131
$c_1 = 600$	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
$L = 144$	157	171	186	201	216	232,5	250,5	268	
$c_1 = 1100$	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	

d) Ausströmung des Dampfes aus Düsen.

α) Ausströmung ohne Widerstände.

1. Erfolgt die Ausströmung aus einer einfachen Mündung, so findet man, sobald  $p_1 > p_2$ , daß die in Zahlentafel 4, 5 zusammengestellten Werte der Ausflußgeschwindigkeit  $c_1$  nicht erreicht werden, weil wegen Stauung der elastischen Dampfmasse in der Mündung, hervorgerufen durch ihre Volumenvergrößerung in der Mündung, ein höherer Druck als im Ausströmgefäß auftritt, also die Energie des Dampfes nur z. T. in Strömung umgesetzt wird, wobei die Größe des außen vorhandenen Gegendrucks nur wenig Einfluß hat.

2. Bedeutet  $F$  qm einen beliebigen Querschnitt des Ausflußrohrs,  $p$ ,  $c$ ,  $V$  die diesem Querschnitt entsprechenden Druck, Geschwindigkeit und Volumen, so muß nach Glg. (28) gelten:

$$c = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \cdot p_1 V_1 \left(1 - \frac{p}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}}. \quad (28a)$$

Nun ist:

$$F \cdot c = V,$$

folglich, wenn sekundlich  $G$  kg Dampf durch die Düseströmen:

$$G = F c : V$$

also:

$$G = F \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{V_1} \left[ \left( \frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}. \quad (34)$$

Die Klammer unter der Wurzel hat einen größten Wert für

$$p_x = p_1 \left( \frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{1-k}}, \quad (35)$$

dem ein kleinster Querschnitt  $F_x$  mit dem Druck  $p_x$  und der Geschwindigkeit  $c_x$  entspricht.

$p_x$  und  $c_x$  heißen kritischer Druck und kritische Geschwindigkeit und letztere ist identisch mit der Schallgeschwindigkeit in Dampf der entsprechenden Dichte.

Man erhält dann aus Gl. (28):

$$c_x = \sqrt{2g \left( \frac{k}{k+1} \right) p_1 V} \quad \text{m} \quad (36)$$

und da das aus der Düse ausströmende Volumen:

$$V_2 = V_1 \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (37)$$

so wird nach (34):

$$G = F_x \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \left( \frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{1-k}}} \quad (38)$$

$$G = F_x \sqrt{2g \left( \frac{k}{k+1} \right) \frac{p}{p_1} \cdot \frac{p_1}{V_1}} \text{ kg.}$$

Aus den Gleichungen 35 bis 38 folgt für:

	gesättigten Dampf $k = 1,135$	überhitzten Dampf $k = 1,333$
$p_x$ kg/qcm =	$0,5774 p_1$	$0,54 p_1$
$c_x$ m =	$323 \sqrt{p_1 V_1}$	$333 \sqrt{p_1 V_1}$
$G$ kg/sek =	$199 F_x \sqrt{p_1 : V_1}$	$208 F_x \sqrt{p_1 : V_1}$

(39)

Da nach Glg. (7 a) angenähert:

$$V_1 = \simeq 47 \frac{T}{10000 p_1}$$

war, so läßt sich für überhitzten Dampf setzen:

$$G = \simeq 20800 F_x p_1 \sqrt{\frac{1}{47 T}} \quad (39a)$$

Ist  $T$  konstant, so ist die sekundliche Dampfmenge proportional dem Mündungsdruck.

Um den gemessenen Einströmungsdruck  $p_1$  kg/qcm auf die Größe des Drucks in der Düse umzurechnen, kann man erfahrungsgemäß setzen, wenn  $t_1^0$  C, dem Druck  $p_1$ ,  $t_d^0$  die dem Druck in der Düse entsprechende Temperatur bedeutet:

$$t_1 - t_d = 0,23 (p_1 - p_2)^2, \quad (39b)$$

worin  $p_2$  kg/qcm absolut der Mündungsdruck ist, also:

$$t_d = t_1 - 0,23 (p_1 - p_2)^2.$$

3. Querschnitte der Düsen mit Berücksichtigung des Zustandes des durchströmenden Dampfes.

α) Bei Düsen, in denen sich der Dampfzustand nicht ändert, hängt das Verhältnis  $F_x$  zum Endquerschnitt  $F_2$  allein von dem Verhältnis  $p_1 : p_2$  ab, für überhitzten

Dampf wird für dasselbe  $p_1 : p_2$ , das Querschnittsverhältnis kleiner als für nassen Dampf.

Für konstanten Dampfzustand in der Düse (überhitzt oder gesättigt) ist:

$$F_2 = F_x \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}} \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (40)$$

β) Tritt aber überhitzter Dampf in die Düse ein und erreicht in der Düse den Sättigungspunkt, so ist angenähert:

$$F_2 = F_x \sqrt{\frac{k_1-1}{k_1+1} \left(\frac{2}{k_1+1}\right)^{\frac{1}{k_1-1}}} \cdot A, \quad (41)$$

worin:

$$A = \frac{\sqrt{\left(\frac{p_s}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_s}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}}}{\sqrt{\left(\frac{p_s}{p_1}\right)^{\frac{2}{k_1}} - \left(\frac{p_s}{p_1}\right)^{\frac{k_1+1}{k_1}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (41a)$$

In dieser Gleichung ist  $k = 1,135$ ,  $k_1 = 1,333$  und  $p_s$  kg/qcm der Druck, bei dem der überhitzte Dampf in trocknen gesättigten Dampf übergeht.

4. Um sich für trocknen gesättigten Dampf die Vorgänge bildlich zu veranschaulichen, sind in Abb. 7 für einen Gegendruck  $p_2 = 0,1 p_1$  kg/qcm und einen Anfangsdruck  $p_1 = 10$  kg/qcm die größten erreichbaren Ausflußgeschwindigkeiten als Abszissen zu den entsprechenden Werten

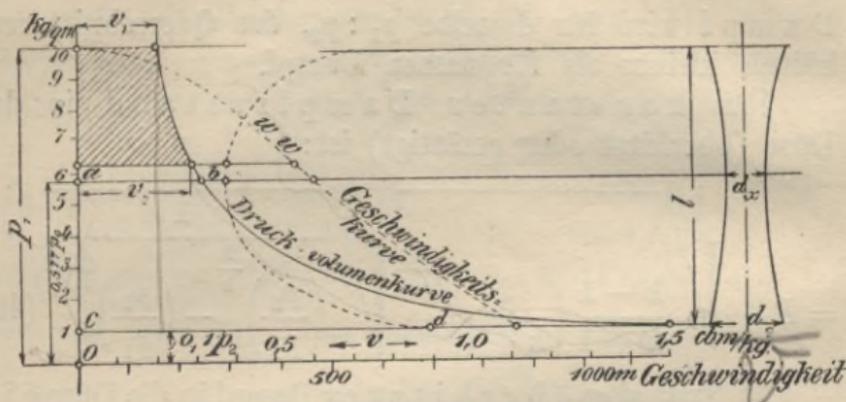


Abb. 7. Düsenenermittlung.

von  $p$  aufgetragen, so daß die Kurve  $w w$  den Verlauf der Geschwindigkeiten darstellt. Sie zeigt, daß mit wachsender Expansion auch die Geschwindigkeit zunimmt. Die Annahme *adiabatischer* Expansion erscheint bei der Kleinheit der Düsenabmessungen gegenüber dem durchströmenden Dampfgewicht gerechtfertigt. Bildet man ferner für alle Werte von  $V$  und  $c$  die Quotienten  $V : c$  und trägt diese ebenfalls als Abszissen zu den Drücken  $p$  auf, so ergibt sich für  $F = V : c$  eine Kurve, deren kleinste Abszisse die Ordinate  $Oa = 0,5774 p_1 = p_x = 5,774 \text{ kg/qcm}$  hat. Im Querschnitt  $ab$  muß demnach ein Druck von  $0,5774 p_1$  herrschen, wenn die Dampfmenge unter Verwandlung ihrer gesamten potentiellen Energie in kinetische ausströmt.

Am Ende der Expansion mit  $p_2 = 0,1 \text{ kg/qcm}$  hat demnach der Quotient die Größe  $cd$  erreicht, so daß  $cd$  den Querschnitt darstellt, den die Ausströmungsöffnung  $F_2$  besitzen muß.

Es folgt, daß die Verhältnisse  $c_x : c_2$ ,  $F_x : F_2$ ,  $d_x : d_2$ , wenn  $d$  Durchmesser bezeichnen, nur von dem Quotienten  $p_1 : p_2$  abhängen und daß die Düsenlänge  $l$  mit wachsendem  $p_1 : p_2$  größer wird. Weiter ergibt sich, daß, wenn  $p_2 : p_1 > 0,5774$

wird, die Düse konvergente, aber für  $p_2 : p_1 < 0,5774$  zuerst konvergente, dann divergente Form haben muß, um die größte dem Druckabfall  $p_1 - p_2$  entsprechende Geschwindigkeit zu erzielen.

Bleibt  $p_1$  konstant, so ändert sich auch für wechselnde Werte von  $p_2$  das ausströmende Dampfgewicht nicht, so lange  $p_2 : p_1$  zwischen 0,5774 und 0 liegt.

5. Die abgeleiteten Gleichungen haben jedoch bei Veränderung der Drücke vor und hinter der Düse nur so lange Gültigkeit, als der zu  $p_1$  und  $p_2$  gehörige kritische Druck  $p_x$  auch wirklich auftreten kann, was auch erfolgt, wenn  $p_2$  an der Mündung wesentlich steigt. Erst für  $p_2 = \approx 0,92 p_1$  ändern sich  $p_x$  und  $G$ .

Man sieht, daß nach Glg. (34) für einen Druckabfall  $p_1 - p_2$ , da für einen beliebigen Querschnitt  $F_2$ :

$$G = F_2 \sqrt{2g \left( \frac{k}{k-1} \right) \frac{p_1}{V_1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \text{ kg} \quad (34)$$

für  $p_2 : p_1 > 0,5774$ , d. h. konvergenter Düse, das Ausflußgewicht  $G$  vom Anfangs- und Enddruck abhängt.

Für  $p_1 = 6 \text{ kg/qcm}$  und  $p_2 = 4 \text{ kg/qcm}$  ergibt sich sekundlich für 1 qcm Düsenquerschnitt  $G = 0,0845 \text{ kg}$ .

Für  $p_1 = 12 \text{ kg/qcm}$ ,  $p_2 = 8 \text{ kg/qcm}$ , also demselben Wert von  $p_2 : p_1 = 0,66$ , folgt  $G = 0,168 \text{ kg}$ , also fast doppelt so groß.

Für  $p_2 : p_1 < 0,5774$ , also konvergent-divergenter Düse schwankt  $c_x$  nur wenig und  $G$  hängt nur von  $p_1$  ab.  $F_x$  bzw.  $d_x$  ergeben sich nach Glg. (39). Kennt man  $V_x$  und  $c_x$ , so ergibt sich:

$$F_x \cdot c_x = G_x \cdot V_x \quad (42)$$

Für den Endquerschnitt  $F_2$  folgt:

$$F_2 \cdot c_2 = G_2 \cdot V_2, \quad (43)$$

und da nach dem Kontinuitätsgesetz:

$$F_x c_x : V_x = F_2 c_2 : V_2$$

so folgt, wenn  $\gamma_x$  und  $\gamma_2$  die entsprechenden spezifischen Gewichte des Dampfes bedeuten:

$$F_x \gamma_x \cdot c_x = F_2 \gamma_2 \cdot c_2, \quad (44)$$

woraus sich  $F_2$  ermitteln läßt.

Für  $p_1$  zwischen 13 und 1 kg/qcm ist nach Rateau in Gramm sekundlich für 1 qcm:

$$G = 15,42 p_1 - p_1 \log p_1 \text{ oder } G = 15,42 p_1^{0,971}.$$

6. Verkleinert man das Verhältnis von  $p_1 : p_2$ , so sinkt der Wirkungsgrad schnell, bei Vergrößerung von  $p_1 : p_2$  aber nur langsam.

### Zahlentafel 6.

Verhältnisse von Druck, Düsenquerschnitt und Düsendurchmesser.

$p_1 : p_2$	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
$\frac{F_2}{F_x} \int_{\text{überh.}}^{\text{ges.}}$	20,4	19,4	18	16,7	15,4	14	12,6	11,2	9,6	8	6,8	5	3
$\frac{F_2}{F_x} \int_{\text{überh.}}$	10,8	10,2	9,7	9	8,4	7,8	7,2	6,4	5,6	4,8	4	3,2	2

Ist  $p_1 - p_2$  veränderlich,  $G$  aber nicht, und soll sich der Wirkungsgrad der Düse nicht ändern, so darf nur der Düsenwinkel geändert werden.

Ist  $p_1 - p_2$  unveränderlich,  $G$  bei veränderlicher Leistung der Turbine aber nicht, so sind  $F_x$  und  $F_2$  zu ändern, der Düsenwinkel aber nicht.

Bleibt die Leistung der Turbine dieselbe und  $p_1$  ebenfalls, während  $p_2$  sich ändert, so ist der Düsenwinkel zu ändern, aber auch  $F_x$  und  $F_2$ , da  $G$  sich ändert, vergl. die Regeln S. 45.

7. Bei praktischer Ausführung, Abb. 7a, macht man den konvergenten Teil der Düse möglichst kurz, um

die Dampfreibungsverluste möglichst einzuschränken. Ist der Neigungswinkel  $\alpha^0$  ( $= \simeq 20^0$ ) und  $d_2$  der Durchmesser der Ausflußöffnung, so ist:

$$F_2 = G \cdot V_2 : c_2 = F_x \cdot \gamma_x c_x : \gamma_2 V_2,$$

ferner:

$$l = (d_2 - d_x) : 2 \operatorname{tg} \alpha. \quad (45)$$

Ergeben sich unter Umständen lange Düsen, so wird, um  $\sphericalangle \alpha$  nicht zu groß zu machen, die Düse manchmal so verkürzt ausgeführt, daß sich das Ende der Expansion erst in den Schaufeln des Turbinenrades vollzieht.

Die Divergenz der Düsen hängt von dem Verhältnis  $F_x : F_2$  ab. Soll eine mit Düsen arbeitende Turbine für verschiedene Werte von  $p_1$  und  $p_2$  und verschiedene Ausflußmengen wirtschaftlich arbeiten, so müssen die absoluten Querschnitte der Düsen, oder die Divergenz oder beide unveränderlich sein.

Ist der Druckabfall veränderlich, die Ausflußmenge aber nicht und soll sich der Wirkungsgrad nicht ändern, so darf nur die Divergenz geändert werden. Ist aber der Druckabfall konstant und schwankt die Ausflußmenge mit der Leistung der Turbine, so sind die absoluten Querschnitte zu ändern, während die Divergenz dieselbe bleiben muß.

Ist die Leistung der Turbine und  $p_1$  konstant,  $p_2$  aber veränderlich, so sind Divergenz und die absoluten Größen der Querschnitte zu ändern, da die Ausflußmenge eine andere wird.



Abb. 7 a.  
Düse.

## Zahlentafel 7.

Verhältnisse von Druck, Ausflußgeschwindigkeit Düsendurchmesser und Ausflußquerschnitt.

$p_1 : p_2$	100	90	80	70	60	50	20	10	8	6	4	2	1,73
$c_2 : c_x$	2,58	2,56	2,54	2,51	2,47	2,43	2,18	1,92	1,86	1,74	1,55	1,02	1
$d_2 : d_x$	3,72	3,56	3,40	3,22	3,03	2,83	1,99	1,56	1,44	1,31	1,16	1,01	1
$F_2 : F_x$	13,80	12,69	11,55	10,39	9,16	7,98	3,97	2,44	2,07	1,72	1,35	1,02	1

8. Eine graphische Ermittlung der Düsenquerschnitte ist von Koob gegeben worden, die in einfacher und anschaulicher Weise zum Ziele führt.

In Abb. 8 sind die drei Zustandskurven  $pv$  in den Quadranten I, II, III dargestellt. Trägt man im Quadranten III die Kurve ein, die den zugehörigen Volumina  $V$  als Geschwindigkeitskurve entspricht, so ist z. B. Punkt  $x$  ein Punkt der Kurve für  $c = 1170$  m. Zieht man ferner eine Gerade parallel zur Volumenachse in einem Abstände  $G$ , der das durch die Düsen strömende Dampfgewicht darstellt, so schneidet die Verbindungslinie  $Ox$  diese Parallele und der Abstand des Schnittpunktes von der Abszissenachse stellt dann den Querschnitt  $F$  dar, der in der Düse vorhanden sein muß, um von dem Dampf vom Zustande  $C$ , Quadrant I, bei Ausfüllung des Querschnitts  $F$  mit der Geschwindigkeit  $c = 1170$  m durchströmt zu werden. Es verhält sich nach Abb. (8)  $F : G = V : c$ , also  $F = G \cdot V : c$ . Der engste Querschnitt  $F_x$  der Düse ergibt sich durch den Abstand des Punktes, in dem die von  $O$  aus an die Geschwindigkeitskurve gelegte Tangente  $Ot$  die im Abstand  $G$  zur Volumenachse parallele Gerade schneidet. Führt man die entsprechende Konstruktion für alle Punkte der adiabatischen Zustandsänderung durch, so ergeben sich die Durchmesser der Düse bis zur Mündung. Durch die Umkehrung der Konstruktion läßt sich für jede gegebene Düse und den bekannten Anfangszustand des Dampfes auch

dessen Druckverlauf beim Durchströmen der Düse ermitteln.

Auch das Diagramm von Mollier läßt sich für die graphische Bestimmung der Düsenabmessungen benutzen.

β) Wirklicher Ausfluß aus Düsen.

1. Der aus einer Düse ausströmende Dampf enthält

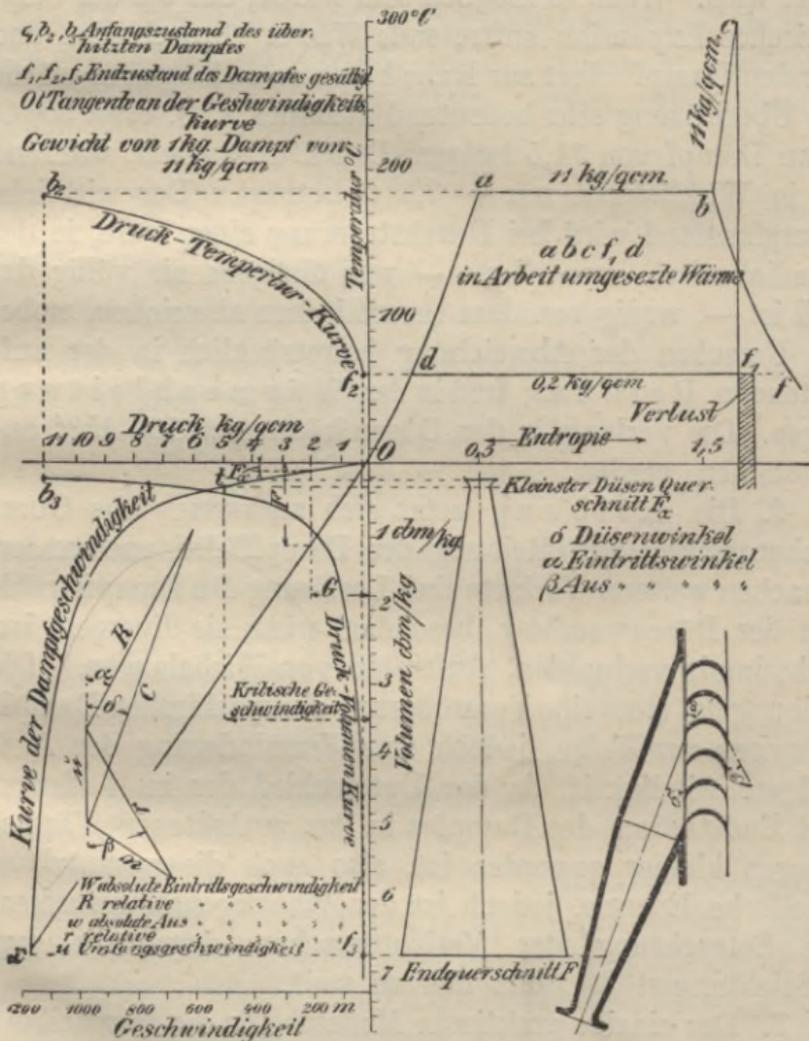


Abb. 8. Düsenermittlung nach Koob.

bei niedrigem Gegendruck bis 20% Wasser, das sich von der Düse aus als Nebel zerstreut.

Kommt der aus einer Düse ausgeströmte Dampf zur Ruhe, so wird die Strömungsenergie des Strahls in Wärme zurückverwandelt, wobei der expandierende Dampf überhitzt wird. Wenn es möglich sein würde, das bei der adiabatischen Expansion auftretende Wasser abzuscheiden und nur den Dampf selbst zur Ruhe kommen zu lassen, so würde die Überhitzung sehr bedeutend ausfallen z. B. etwa 35° C, wenn Dampf von 11,5 kg/qcm Druck expandiert, während sie in Wirklichkeit nur  $\sim 7,5^{\circ}$  C beträgt. Der wirkliche Dampfzustand wird bei Durchströmung einer Düse, in der er adiabatisch expandierte — was übrigens nie völlig der Fall ist —, wenig von dem theoretischen abweichen, wobei die Ursachen der Abweichung hauptsächlich in der auftretenden Reibung und in der Wärmeableitung liegen. Die Verluste in den Düsen können zu 10—15% angenommen werden.

2. Die Reibung setzt sich zusammen aus Oberflächenreibung und Reibung der Dampffäden aneinander, Ursachen weiterer Verluste sind Loslösung des Dampfstrahls von der Düsenwandung, besonders wenn sie divergent ist, und, damit verbunden, Auftreten von Wirbelungen. Die Reibung hat stets eine Vergrößerung des spezifischen Dampfolumens zur Folge, jedoch eine Verminderung der Ausflußgeschwindigkeit, da der Unterschied der im Anfangs- und Endstadium des Dampfes in ihm enthaltenen Wärmemengen kleiner geworden ist, also auch die ausnutzbare kinetische Energie, jedoch ist der Wassergehalt gesunken. Die Betrachtung der Verlustursachen durch die sog. Verdichtungsstöße führt hier zu weit.

3. Der einzige praktische Maßstab für die Beurteilung der Düsenverluste ist die Verminderung der Aus-

flußgeschwindigkeit. Die wirkliche Ausflußgeschwindigkeit  $c'_2$  kann daher, wenn  $c_2$  diejenige ohne Verluste bedeutet, geschrieben werden:

$$c'_2 = \varphi_1 c_2,$$

worin  $\varphi_1 < 1$  ist und als Dampfreibungskoeffizient bezeichnet wird. Der Düsenverlust  $q_1$  in WE kann auch als ein Bruchteil  $\xi_1$  des in der Düse umgesetzten Wärmegefälles  $i_1 - i_2$  angesehen werden, also gesetzt werden:

$$\xi_1 (i_1 - i_2) 427 = \xi_1 \frac{c_2^2}{2g} = \frac{c_2^2}{2g} - \frac{c_2'^2}{2g} = 427 (i_2 - i_2')$$

mithin da:  $\varphi_1 = c_2'^2 : c_2^2$ , folgt:

$$\xi_1 = 1 - \varphi_1^2 \text{ oder } \varphi_1 = \sqrt{1 - \xi_1}. \quad (46)$$

Gehen allgemein  $\varphi\%$  an Ausflußgeschwindigkeit verloren, so gilt die Beziehung:

$$\varphi = \frac{c_2^2 - c_2'^2}{c_2^2} \cdot 100\%.$$

Diesem Geschwindigkeitsverlust entspricht ein solcher an Energie in % von:

$$\xi = \frac{c_2^2 - c_2'^2}{c_2^2} \cdot 100 = 2\varphi - \frac{\varphi^2}{100}\%, \quad (47)$$

$$\varphi_1 = 10(10 - \sqrt{100 - \xi}). \quad (48)$$

Für richtig bemessene Düsen und Leitvorrichtungen nehmen, nach den Versuchen von Christlein, die Strömungsverluste mit wachsender Durchflußgeschwindigkeit ab, bis 450 m Geschwindigkeit nehmen sie zu. Man pflegt daher bei den praktischen Anwendungen den Druck  $p_1$  vor den Düsen etwas höher zu halten, als derjenige beträgt, für den die Düse berechnet ist, oder die Querschnittsmessungen der Düse müssen größer gehalten werden.

Für die Werte von  $\varphi_1$  und  $\xi_1$  kann angenommen werden für:

kurze Düsen:  $\varphi_1 = 0,975 - 0,95$ ,  $\xi_1 = 0,05 - 0,1$ ,

lange Düsen:  $\varphi_1 = 0,95 - 0,92$ ,  $\xi_1 = 0,1 - 0,15$ .

Diese Zahlen bedürfen jedoch nach den Versuchen von Christlein einer Berichtigung.

Während nach der bisherigen Ansicht die Verluste bis zum engsten Querschnitt praktisch Null sind und auf 10—15% bis zum Austritt zu nehmen, ergaben die Versuche, daß bis zum engsten Querschnitt etwa 10—15% Energieverluste auftreten, die sich mit zunehmender Austrittsgeschwindigkeit auf 6—10% vermindern. Dadurch er-

geben sich aber um 6—13% zu große engste Querschnitte, so daß bei richtigerer Annahme der Expansionsverlauf in einer Düse, in der z. B. der Dampf von 12 Atm. auf 0,08 Atm. expandiert, sich nach Abb. 9 ergibt, in der die

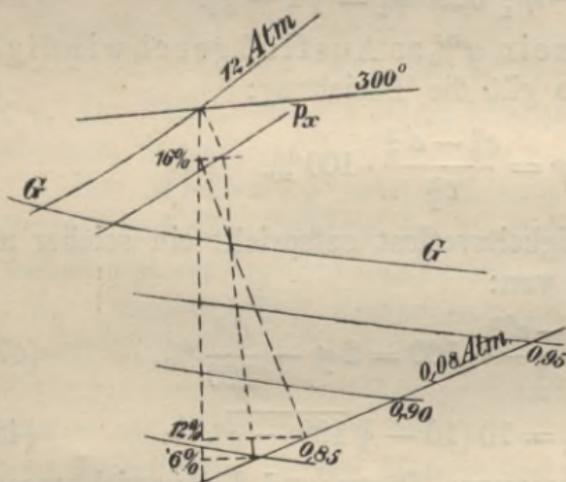


Abb. 9

Verhalten des Dampfs in den Düsen.

den Verlauf nach den angezogenen Versuchen zeigt.

Nach den Versuchen von Christlein erscheint es also als sehr wahrscheinlich, daß, entgegengesetzt der bisherigen Auffassung, nach Überschreitung der kritischen Geschwindigkeit eine Verbesserung

Wydziału K. munitacji przy A. G.

Dziat ..... L.

des Wirkungsgrades des Energieumsatzes in Düsen und Leitapparaten stattfindet.

Eine Abhängigkeit der Düsenverluste von der Geschwindigkeit läßt sich kaum durch eine Formel darstellen, denn wenn in einem Falle z. B.  $p_1 = 12 \text{ kg/qcm}$ ,  $t_1 = 300^\circ \text{ C}$  und  $p_2 = 6,5 \text{ kg/qcm}$ , so ist  $c_2 = \infty 540 \text{ m}$  und die Düse konvergent. Dieselbe Geschwindigkeit ergibt sich für  $p_1 = 1 \text{ kg/qcm}$ ,  $p_2 = 0,4 \text{ kg/qcm}$ , jedoch muß die Düse konvergent-divergent sein. Da der größere Teil der Verluste in letzterem Falle nach den bisherigen Annahmen, vgl. S. 44, im divergenten Teil liegt, aber die Verluste in beiden Fällen bei gleicher Geschwindigkeit verschieden ausfallen

und der Druckverlust im konvergenten Teil proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit, im divergenten Teil aber annähernd ihrer dritten Potenz ist, so dürfte die Schwierigkeit der Feststellung der Düsenverluste in ihrer Abhängigkeit von der Geschwindigkeit einleuchten, um so mehr, als Konstruktion und Oberflächengestaltung der Düse ebenfalls von Einfluß sind.

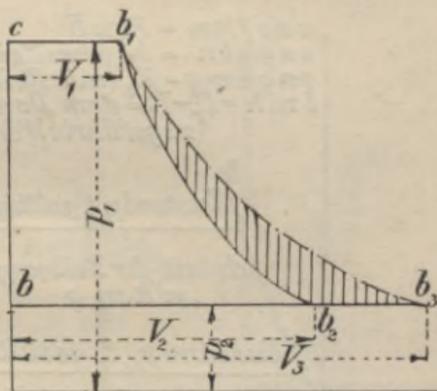


Abb. 10.

Darstellung der Verluste.

4. Die graphische Darstellung der Verluste.

$\alpha$ ) Im  $p$ - $v$ -Diagramm, Abb. 10, stellt  $b_1 b_2$  die reibungslose adiabatische Expansion dar,  $b_1 b_3$  die wirklich stattfindende, während die Fläche  $b c b_1 b_3 b$  vermindert um die Arbeit der Reibung die verfügbare Energie bedeutet.

$\beta$ ) Im Entropiediagramm, Abb. 11, bedeutet  $o a e f k n$  die im Anfangszustand vorhandene Wärmemenge  $\lambda_1$ , die Fläche  $o a g h l n$  die bei reibungsfreier Strömung im Endzustand vorhandene Wärmemenge  $\lambda_2$ , während Fläche  $o a g h m q$  die Wärmemenge  $\lambda_3$  bei nicht reibungsfreier Strömung im Endzustand darstellt. Wäre keine Reibung vorhanden gewesen, so hätten sich  $\lambda_1 - \lambda_2$  WE ausnutzen lassen und  $\lambda_1 - \lambda_3$  WE wären in Wirklichkeit ausgenutzt, während Fläche  $l k m$  die dem Dampf durch die Arbeit der Reibung zugeführte Wärmemenge bedeutet.

$\gamma$ ) Im Diagramm von Mollier, Abb. (5), erscheinen die Verluste als Strecken, um welche das zur

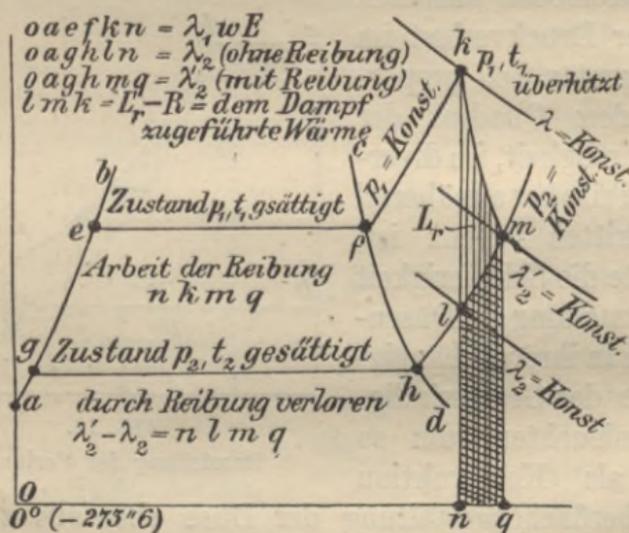


Abb. 11. Darstellung der Verluste.

Verfügung stehende adiabatische Wärmegefälle  $AB$  verkleinert wird. So z. B. stellt  $BE$  den Düsenverlust dar, so daß mit seiner Berücksichtigung der Dampf nicht in den Zustand  $B$ , sondern  $E_1$  übergeht, so daß  $AE : AB$  den Wirkungsgrad der Düse bedeutet. In Abb. 5 sind in gleicher

Weise die übrigen Verluste bei Durchströmen des Dampfes durch eine Turbine dargestellt, wobei  $AL:AB$  den Wirkungsgrad der gesamten Dampfzustandsänderung bedeutet, dem der Endzustand  $M$  entspricht, wobei  $M$  auf der Linie gleichen Drucks mit  $B$  liegt.

Für Dampf, der vom Anfangszustand  $A$  (Abb. 12) in einer Düse auf den Gegendruck  $p_2$  kg/qcm expandiert, stellt für den Düsenverlust  $BC = FG$ ,  $E$  den Zustand bei  $p_2$  kg/qcm dar, während  $AC:AB$  den Wirkungsgrad der Düse bedeutet. Weitere Verluste, durch die der Dampfendzustand  $N$  mit dem Druck  $p_3$  erreicht wird, sind in den Strecken  $GH$ ,  $HI$ ,  $IK$ ,  $KL$  verdeutlicht, bis der Zustand  $M$  bei dem Druck  $p_2$  erreicht ist. Es ist ersichtlich, daß die schräg schraffierte Fläche eine gewisse, während der Änderung des Zustandes von  $A$  bis  $N$  zurückgewonnene Wärmemenge darstellt, während der Verlust an Energie durch die kreuzweise schraffierte Fläche ausgedrückt wird.

δ) Beispiele für die Berechnung von Düsen.

Es seien die Abmessungen einer Dampf Düse zu ermitteln, durch die sekundlich  $G_s = 1$  kg Dampf von  $p_1 = 10$  kg/qcm Spannung, bei  $p_2 = 1$  kg/qcm Gegendruck strömen.

1) Der Dampf sei im Anfangszustand gesättigt.

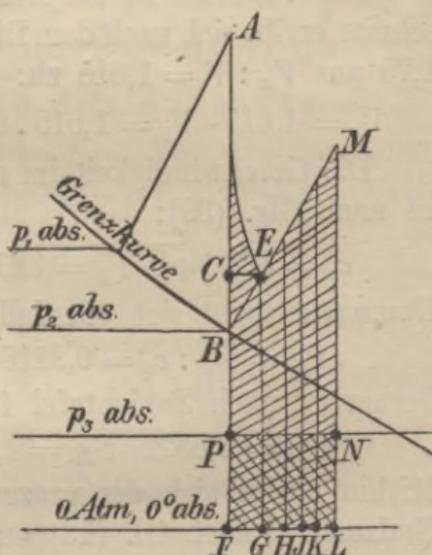


Abb. 12. Darstellung der Verluste.

Der kritische Druck ist:

$$p_x = 0,58 \cdot p_1 = 5,8 \text{ kg/qcm.}$$

Die Anfangs- und Endvolumina sind nach Zahlentafel 1:

$$V_1 = 0,1993 \text{ cbm/kg, } V_2 = 1,722 \text{ cbm/kg (gesättigt).}$$

Demnach der engste Düsenquerschnitt nach Glg. (39)

$$F_x = \frac{1}{199} \sqrt{V_1 : p_1} = 0,0007 \text{ qm}$$

für die sekundlich hindurchströmende Dampfmenge, und der entsprechende Durchmesser:

$$d_x = 30 \text{ mm.}$$

Das Volumen  $V_x$  des Dampfes im engsten Düsenquerschnitt ergibt sich nach dem Diagramm, Abb. 1, da  $p_1 : p_x = 1,75$  aus  $V_x : V = 1,615$  zu:

$$V_x = 1,615 \cdot V_1 = 1,615 \cdot 0,1993 = 0,32187 \text{ cbm/kg.}$$

Die Geschwindigkeit im engsten Querschnitt der Düse ist nach Glg. (39):

$$c_x = 323 \sqrt{p_1 \cdot V_1} = 323 \sqrt{10 \cdot 0,1993} = 456 \text{ m.}$$

Demnach ergibt sich ebenfalls:

$$F_x = V_x : c_x = 0,32187 : 456 = 0,0007 \text{ qm.}$$

Ferner ist nach Zahlentafel 1 die Entropie:

$$S_{d1} = 1,5822, S_{d2} = 1,7615, S_w = 0,3111.$$

Mithin ergibt sich der prozentuale Gehalt an Wasser im Endzustand nach Gl. (18) aus:

$$S_{d1} = S_{d2} (1 - x) + S_w \cdot x = 1,5822 = 1,7615 (1 - x) + 0,3111, \quad x = 12,36 \text{ \%}.$$

Der Dampfgehalt im Endvolumen beträgt demnach:

$$V'_2 = \frac{1}{100} (1 - x) V_2 = \frac{1}{100} (1 - 12,36) \cdot 1,722$$

$$V'_2 = 1,50916 \text{ cbm.}$$

Weiter sind die in Betracht kommenden Wärmehalte, nach Zahlentafel 1:

$$\lambda_1 = 666,1 \text{ WE}, \quad \lambda_2 = 639,3 \text{ WE}, \quad q_2 = 99,6 \text{ WE}.$$

Das Wärmegefälle ist also:

$$i = \lambda_1 - \lambda_2 \frac{(1-x)}{100} - q_2 \cdot \frac{x}{100} = 666,1$$

$$- 639,3 \cdot 0,8764 - 99,6 \cdot 0,1236 = 93,5 \text{ WE}.$$

Die Ausströmungsgeschwindigkeit  $c_2$  aus der Düse ist folglich, Glg. (23):

$$c_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot i \cdot 427} = \sqrt{2g \cdot 93,5 \cdot 427} = 886 \text{ m}.$$

Der Endquerschnitt der Düse:

$$F_2 = G_s \cdot V_2^{\frac{1}{2}} : c_2 = 1,50916 : 886 = 0,0017 \text{ qm}.$$

Berücksichtigung der Verluste.

Wird der Energieverlust zu  $\xi_1 = 7,5\%$  angenommen, so ergibt sich für die ausnutzbare Wärmemenge:

$$i' = i \cdot \frac{1}{100} (1 - \xi_1) = 93,5 \cdot 0,925 = 86,5 \text{ WE},$$

mithin der Wassergehalt  $x'$  im Endzustand aus:

$$\lambda_1 - \lambda_2 (1 - x') - q_2 x' = 666,1 - 639,3 (1 - x') - 99,6 q_2 \\ = i' = 86,5 \text{ WE}, \quad x' = 11 \text{ \%}.$$

Demnach der Dampfgehalt im Endzustand:

$$V_2'' = V_2 \cdot (1 - x') = 1,722 \cdot 0,89 = 1,53258 \text{ cbm}.$$

Der Geschwindigkeitsverlust folgt aus:

$$\varphi_1 = 10 (10 - \sqrt{1 - \xi_1}) = 3,8 \text{ \%}.$$

Die wirkliche Ausflußgeschwindigkeit demnach:

$$c_2' = 0,962 \cdot c_2 = 0,962 \cdot 886 = 852 \text{ m}$$

und damit der Endquerschnitt:

$$F_2 = V'_2 : c' = 1,53258 : 852 = 0,0018 \text{ qm.}$$

II) Der Dampf sei im Anfangszustand auf  $t_1 = 300^\circ \text{ C}$  überhitzt.

Hier wird

$$p_x = 0,54 p_1 = 0,54 \cdot 10 = 5,4 \text{ kg/qcm.}$$

Aus Glg. 7 ergibt sich  $V_1$ :

$$V_1 = 0,001 + 47 \cdot \frac{t_1 + 273}{10000 \cdot p_1} - y_2$$

$$= 0,001 + 47 \cdot \frac{573}{100000} - 0,0063 = 0,2641 \text{ cbm/kg,}$$

folglich:

$$F_x = \frac{1}{208} \sqrt{V_1 : p_1} = \frac{1}{208} \sqrt{0,2641 : 10} = 0,00078 \text{ qm}$$

für 1 kg sekundlich.

Nach dem Diagramm, Abb. 1, würde sich ergeben, da  $p_1 : p_x = 1,85$ ,

$$V_x : V_1 = 1,606; V_x = 1,606 V_1 = 1,606 \cdot 0,2641 \\ = 0,4241 \text{ cbm/kg.}$$

Da nun:

$$c_x = 333 \sqrt{V_1 \cdot p_1} = 333 \sqrt{0,2641 \cdot 10} = 542 \text{ m,}$$

so folgt auch:

$$F_x = V_x : c_x = 0,4241 : 542 = 0,00078 \text{ qm (wie oben).}$$

Ferner ist:

$$S_{d1} = 1,7126 \text{ nach Glg. (14), } S_{d2} = 1,7615, S_w = 0,311.$$

Der Wassergehalt  $x$  des Dampfes nach der Expansion folgt aus:

$$S_{d1} = S_{d2} (1 - x) + 0,311 x; x = 3,37 \%.$$

Da im gesättigten Zustand  $V_2 = 1,722 \text{ cbm/kg}$ , ergibt sich der Dampfinhalt zu:

$$V'_2 = (1 - x) V_2 = 1,66397 \text{ cbm.}$$

Die Wärmehalte betragen:

Nach Glg. (5)  $\lambda_1 = 731,6$  WE, nach Zahlentafel 1:

$\lambda_2 = 639,3$   $q_2 = 99,6$  WE. Demnach das Wärmegefälle:

$$i = \lambda_1 - \lambda_2 (1 - x) - q_2 \cdot \frac{x}{100} = 110,5 \text{ WE}$$

und die Ausflußgeschwindigkeit:

$$c_2 = \sqrt{2gi \cdot 427} = \sqrt{2g \cdot 110,5 \cdot 427} = 962 \text{ m.}$$

Der Querschnitt am Düsenende folgt aus:

$$F_2 = G_s \cdot V'_2 : c_2 = 1,66397 : 962 = 0,00173 \text{ qm.}$$

Berücksichtigung der Verluste.

Für  $c_x$  ergibt sich ein Wärmegefälle:

$$i_x = c_x^2 : 2g \cdot 427 = 542^2 : 2g \cdot 427 = 35 \text{ WE.}$$

Unter der Annahme eines Energieverlustes  $\xi_1 = 2,7\%$  ergibt sich:

$$i'_x = i_x (1 - \xi_1) = 35 \cdot 0,973 = 34 \text{ WE,}$$

folglich:

$$\lambda_x = \lambda_1 - i'_x = 731,6 - 34 = 697,6 \text{ WE.}$$

Ebenso wäre nach Glg. (5):

$$594,7 + 0,477 t_x - 5,4 y_1 = 697,6$$

$$t_x = (102,9 - 5,4 \cdot y_1) : 0,477.$$

Nach Einsetzen einiger Probewerte für  $y_1$  ergibt sich

$$t_x = 227^{\circ} \text{ C,}$$

folglich nach Glg. (7)

$$V_x = 0,001 + 47 \frac{t_x + 273}{10000 \cdot p_x} - y_2,$$

$$V_x = 0,001 + 47 \cdot \frac{500}{54000} - 0,01 = 0,4252 \text{ cbm/kg.}$$

Der Geschwindigkeitsverlust folgt aus:

$$10(10 - \sqrt{1 - \xi_1}) = 10(10 - \sqrt{100 - 2,7}) = \approx 1,4\%,$$

mithin:

$$c'_x = (1 - 1,4) c_x = 0,986 \cdot 542 = 535 \text{ m.}$$

Damit ergibt sich:

$$F_x = V_x : c'_x = 0,4252 : 535 = 0,0008 \text{ qm}$$

für 1 kg sekundlich.

Um  $F_2$  zu ermitteln und unter der Annahme, daß von dem Wärmegefälle  $i = 110,5$  WE, 95%, zur Ausnutzung gelangen, hat man  $i' = 0,95 \cdot 110,5 = \approx 100$  WE, und es folgt für den Wassergehalt im Endzustande:

$$i' = \lambda_1 - \lambda_2(1 - x) - q_2 \cdot x$$

$$100 = 731,6 - 639,3(1 - x) - q_2 x$$

woraus:

$$x = 1,42\%$$

und damit:

$$V_2 = \frac{(100 - x)}{100} V_2 = 0,9858 \cdot 1,722 = 1,69755 \text{ cbm/kg.}$$

Der Verlust an Geschwindigkeit beträgt:

$$10(10 - \sqrt{1 - \xi'_1}) = 10(10 - \sqrt{100 - 9,5}) = 5\%.$$

Mithin:

$$c'_2 = 0,95 \cdot c_2 = 0,95 \cdot 962 = 914 \text{ m.}$$

Der Endquerschnitt der Düse demnach:

$$F'_2 = V'_2 : c'_2 = 1,69755 : 914 = 0,00186 \text{ qm}$$

für 1 kg sekundlich.

## Zweiter Abschnitt.

### Die Ausnutzung der Energie des Dampfes in den Dampfturbinen.

I. Die Umsetzung der kinetischen Energie des Dampfes in Drehungsarbeit erfolgt bei allen Dampfturbinen in der Weise, daß der Dampf auf ein oder mehrere hintereinander angeordnete und mit einer Welle fest verbundene Räder geleitet wird, so daß sich die auftretende, drehende Bewegung der Welle mitteilt.

1. Sind die Schaufeln mit ihrer Längsrichtung radial zur Welle angeordnet, so daß die Dampfströmung parallel zur Welle der Turbinenräder erfolgt, also jedes Dampfteilchen bei der Drehung des Rades eine Schraubenlinie auf dem Radumfang beschreibt, so spricht man von Axialturbinen. Stehen dagegen die Schaufeln parallel zur Turbinenachse, so daß der Dampf in radialer Richtung strömt, so hat man Radialturbinen, wobei die Dampfströmung von der Achse fort oder zu ihr hin gerichtet sein kann (innere bzw. äußere Beaufschlagung). Radialturbinen sind in verhältnismäßig wenig Anordnungen zur Ausführung gelangt.

2. Bei den hohen Dampfgeschwindigkeiten, die sich bei der Ausströmung des Dampfes aus Düsen erzielen lassen, wird man, um die Energie des Dampfes wirtschaftlich verwerten zu können, für die Räder, deren Schaufeln die Energie aufzunehmen und auf die Radwelle zu übertragen haben, bei Anwendung des reinen Aktions- (Gleichdruck-) Prinzips, bei dem der auf die Schaufeln wirkende Dampf wie ein geworfener Körper wirkt, Rad-

umfangsgeschwindigkeiten ausnutzen müssen, die etwa 0,5 der Dampfgeschwindigkeit betragen. Bei Rädern, deren Beaufschlagung nach dem *Ü b e r d r u c k* (*R e a k t i o n s - p r i n z i p*) erfolgt, müßte die Umfangsgeschwindigkeit sogar gleich der vollen Dampfgeschwindigkeit sein.

Praktische Schwierigkeiten, wie übermäßige Materialbeanspruchung durch die auftretenden Zentrifugalkräfte, falls größere Räder selbst mit verhältnismäßig geringeren Umlaufzahlen verwendet werden sollen, lassen das aber als unmöglich erscheinen. Bei 400 m Umfangsgeschwindig-

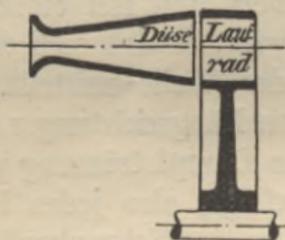


Abb 13.



Abb. 14.

Einstufige Gleichdruckturbinen.

keit z. B. würde sich, wenn 150 Umdrehungen minutlich nicht überschritten werden sollen, Raddurchmesser von  $\approx 5$  m ergeben.

Dazu kommt, daß die Umlaufzahl der Räder bei direkter Kupplung derjenigen der zu betreibenden Maschinen gleich sein müßte, und da die höchste zurzeit verwendete Umlaufzahl von Drehstrom-Dynamos 3000 kaum überschreitet, so würde die Umlaufzahl bei der Verwendung kleinerer Turbinenräder entsprechend derjenigen der Welle der direkt gekuppelten Dynamos vermindert werden müssen.

II. Die Mittel zur Verminderung der Umlaufzahl.

1. Druckwirkung des Dampfes.

a) Einstufige Gleichdruckturbinen.

$\alpha$ ) Einschaltung eines Rädervorgeleges wird erforderlich, wenn die volle Dampfgeschwindigkeit, die durch Umsetzung des Wärmegefälles in einem Düsensatz auftritt, nur in einem Rade von verhältnismäßig kleinem Durchmesser ausgenutzt werden soll, wie in der einstufigen Druckturbine von de Laval, Abb. 13, 14.

Bei einstufigen Turbinen muß die Arbeitsabgabe in etwa  $\frac{1}{25000}$  Sekunde erfolgen, und während dieser kurzen Zeit findet der Dampf nicht genügend Gelegenheit, die ihm innewohnende Energie an das Laufrad abzugeben. Das Rad arbeitet dabei in der Spannung des Gegendrucks. Das Vorgelege beschränkt die Leistung auf etwa höchstens 500 PS.

Die Führung des Dampfes durch die Laufschaufeln muß so erfolgen, daß eine Druckänderung nicht eintreten kann. Ebenso wenig darf die Geschlossenheit des eintretenden Strahles gestört werden, und da der Dampf nur durch seinen Massendruck wirkt, müssen auch die Schaufelkanäle unveränderlichen Querschnitt erhalten und der Eintritt muß stoßfrei erfolgen. Den Druck und Geschwindigkeitsverlauf zeigt Abb. 15.

Anwendung größerer Raddurchmesser, ohne Anwendung von Rädervorgelegen, kommt, außer in Amerika für kleinere Leistung, kaum mehr vor.

$\beta$ ) Abstufung der Geschwindigkeit, Abb. 16.

Die durch Umsetzung des ganzen Wärmegefälles in den Düsen erreichte Dampfgeschwindigkeit wird auf die Schau-

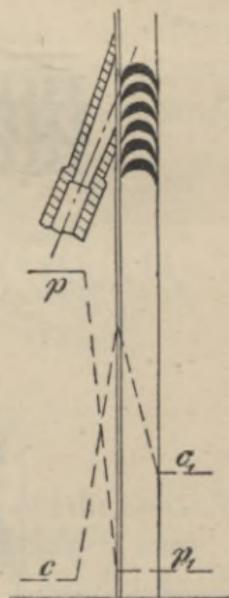


Abb. 15. Druck und Geschwindigkeitsverlauf.

feln eines Rades geleitet, dessen Durchmesser so groß gewählt ist, daß es sich nur mit einem Bruchteil der der Dampfgeschwindigkeit entsprechenden Umlaufszahl dreht, so daß der aus dem Laufrade austretende Dampf noch eine

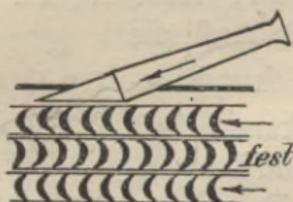


Abb. 16.

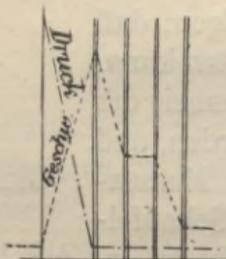


Abb. 18.

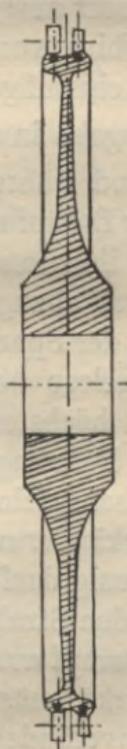


Abb. 17.

Abb. 16—18. Abstufung der Geschwindigkeit.

so hohe Geschwindigkeit besitzt, um durch am Gehäuse angeordnete zur Umlenkung des Dampfstrahls bestimmte Leitschaufeln auf ein zweites, ebenso auf ein drittes Laufrad usw. geleitet werden zu können, wodurch allmählich die Geschwindigkeit aufgezehrt wird. Dabei kann die Anordnung so getroffen werden (Abb. 17), daß sich mehrere Laufschaukelkränze auf dem Umfange eines Rades befinden.

Ist nur ein Geschwindigkeitsrad vorhanden, so wird das ganze Wärmegefälle einer Stufe im ersten Leitapparat (Düsen) in Geschwindigkeit umgewandelt und von der kinetischen Energie im ersten Laufrad nur ein Teil ausgenutzt. Der Verlauf von Druck und Geschwindigkeit ist aus Abb. 18 ersichtlich.

$\gamma$ ) Wiederholte Beaufschlagung des aus dem Laufrade noch mit einer gewissen Geschwindigkeit austretenden Dampfes durch geeignete Umkehrschaufeln auf dasselbe Laufrad, Abb. 19, bis die Dampfgeschwindigkeit

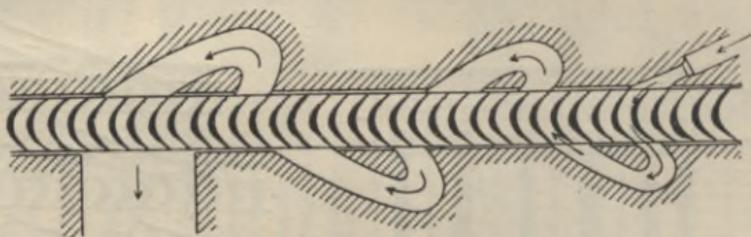


Abb. 19.  
Wiederholte Beaufschlagung.

keit aufgezehrt ist, wobei die Zurückleitung auf die Schaufeln selbst oder die Seitenflächen der Räder erfolgen kann, so daß im letzteren Falle die Reibung des Dampfes an den Schaufelwandungen ausgenützt wird. Wegen der abnehmenden Geschwindigkeit des Dampfes muß der beaufschlagte Bogen von Stufe zu Stufe größer werden und damit wächst auch Länge und Breite der Umführungskanäle. Durch die Länge der Kanäle steigen jedoch die Reibungsverluste und ergeben besonders bei radialer Dampfführung Geschwindigkeitsverluste. Die Umfangsgeschwindigkeit beträgt etwa  $\frac{1}{4}$  der Dampfeintrittsgeschwindigkeit.

b) Mehrstufige Gleichdruckturbinen.

$\alpha$ ) Druckabstufung (Abb. 20, 21) wird dadurch erzeugt, daß das vorhandene Gesamtdruckgefälle des Dampfes

in mehrere Stufen unterteilt wird, wobei in jeder Stufe vor und hinter dem Laufrad derselbe Druck herrscht. Im ersten Laufrad wird dabei nur ein Teil des Druckes der vor dem ersten Leitrad (Düsen) herrscht, durch die Düsen in Geschwindigkeit und diese im ersten Laufrad in Drehungsarbeit umgesetzt. Der noch vorhandene Druck beim Austritt aus dem ersten Laufrad wird durch einen zweiten Leitrad(Düsen)satz in Geschwindigkeit umgesetzt. Mehrstufige Gleichdruckturbinen sind demnach mehrere hintereinandergeschaltete de Laval-Räder zur

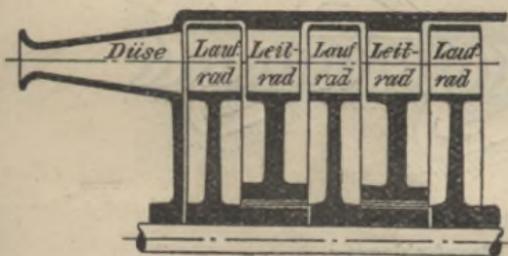


Abb. 20.

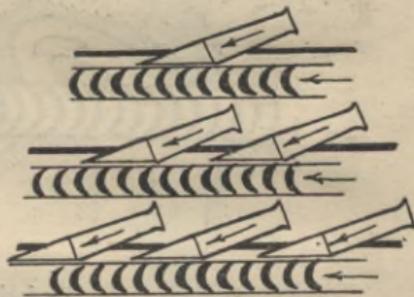


Abb. 21.

## Druckabstufung.

Ausnutzung eines bestimmten Druckgefälles, die in getrennten Räumen laufen, in deren Scheidewänden die Düsen-sätze liegen und in denen vor und hinter dem Laufrad derselbe Druck herrscht. Der Druck- und Geschwindigkeitsverlauf kann in verschiedener Weise angeordnet werden. In Abb. 22 ist der Druck vor und hinter jedem Laufrad konstant und in jeder Stufe findet im Laufrad Expansion statt; die Räder sind in zwei Druckstufengruppen angeordnet, und eine Ausnutzung der Austrittsgeschwindigkeit findet nur in der letzten Stufe einer jeden Gruppe nicht statt. Die Beaufschlagung erfolgt partiell, d. h. auf einem Teil des Umfanges.

- Die Dampfturbinen**, ihre Wirkungsweise und Konstruktion von Ingenieur Prof. Hermann Wilda in Bremen. 3 Bändchen. Mit zahlreichen Abbildungen. Nr. 274, 715, 716.
- Die Wasserturbinen** von Dipl.-Ing. P. Holl in Berlin. **I:** Allgemeines. Die Freistrahlturbinen. Mit 113 Abbildungen. Nr. 541.  
 — — **II:** Die Überdruckturbinen. Die Wasserkraftanlagen. Mit 102 Abbildungen. Nr. 542.
- Die zweckmäßigste Betriebskraft** von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. **I:** Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschiedene Kraftmaschinen. Mit 27 Abbildungen. Nr. 224.  
 — — **II:** Gas-, Wasser- und Windkraft-Anlagen. Mit 31 Abbild. Nr. 225.  
 — — **III:** Elektromotoren. Betriebskostentabellen. Graphische Darstellungen. Wahl der Betriebskraft. Mit 27 Abbildungen. Nr. 474.
- Eisenbahnfahrzeuge** von H. Hinnenthal, Kgl. Regierungsbaumeister und Oberingenieur in Hannover. **I:** Die Lokomotiven. Mit 89 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. Nr. 107.  
 — — **II:** Die Eisenbahnwagen und Bremsen. Mit 56 Abbildungen im Text und 3 Tafeln. Nr. 108.
- Die Hebezeuge**, ihre Konstruktion und Berechnung von Ingenieur Hermann Wilda, Prof. am staatl. Technikum in Bremen. Mit 399 Abbildungen. Nr. 414.
- Pumpen, Druckwasser- und Druckluft-Anlagen.** Ein kurzer Überblick von Dipl.-Ing. Rudolf Vogdt, Regierungsbaumeister a. D. in Aachen. Mit 87 Abbildungen. Nr. 290.
- Die landwirtschaftlichen Maschinen** von Karl Walther, Dipl.-Ingenieur in Essen. 3 Bändchen. Mit vielen Abb. Nr. 407—409.
- Die Werkzeugmaschinen für Holzbearbeitung** von Ing. Prof. Herm. Wilda in Bremen. Mit 125 Abbildungen. Nr. 582.
- Die Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung** von Ing. Prof. Hermann Wilda in Bremen. **I:** Die Mechanismen der Werkzeugmaschinen. Die Drehbänke. Die Fräsmaschinen. Mit 319 Abbildungen. Nr. 561.  
 — — **II:** Die Bohr- und Schleifmaschinen. Die Hobel-, Shaping- und Stoßmaschinen. Die Sägen und Scheren. Antrieb und Kraftbedarf. Mit 199 Abbildungen. Nr. 562.
- Gießereimaschinen** von Dipl.-Ing. Emil Treiber in Heidenheim a. B. Mit 51 Figuren. Nr. 548.
- Die elektrisch betriebenen Fördermaschinen** von Diplom-Bergingenieur A. Balthaser. Mit vielen Fig. Nr. 678.
- Die Preßluftwerkzeuge** von Diplom-Ingenieur P. Iltis, Oberlehrer an der Kaiserl. Technischen Schule in Straßburg. Mit 82 Figuren. Nr. 493.
- Die Baumaschinen** von Ingenieur Johannes Körting in Düsseldorf. Mit 130 Abbildungen. Nr. 702.
- Technisches Wörterbuch**, enthaltend die wichtigsten Ausdrücke des Maschinenbaues, Schiffbaues und der Elektrotechnik von Erich Krebs in Berlin. **I:** Deutsch-Englisch. Nr. 395.  
 — — **II:** Englisch-Deutsch. Nr. 396.  
 — — **III:** Deutsch-Französisch. Nr. 453.  
 — — **IV:** Französisch-Deutsch. Nr. 454.

Weitere Bände erscheinen in rascher Folge.

Sammlung Götschen

# Die Dampfturbinen

Ihre

Wirkungsweise, Berechnung u. Konstruktion

Von

Prof. Hermann Wilda

Ingenieur

Inhaber der Medaille des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen

Erster Teil

Theorie der Dampfturbinen

Dritte, erweiterte Auflage

Mit 46 Abbildungen



Berlin und Leipzig

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, G. m. b. H.

1914

rädern erzeugte Energie wird durch Rückwirkung auf die Laufschaufeln ausgenutzt, da der Dampf in ihnen ebenfalls eine Beschleunigung erfährt. Während also die absolute Eintrittsgeschwindigkeit in dem Leitrad erhöht wird, findet im folgenden Laufrad wegen der in ihm vor sich gehenden Arbeitsabgabe eine Verminderung statt, wobei die relative Aus-

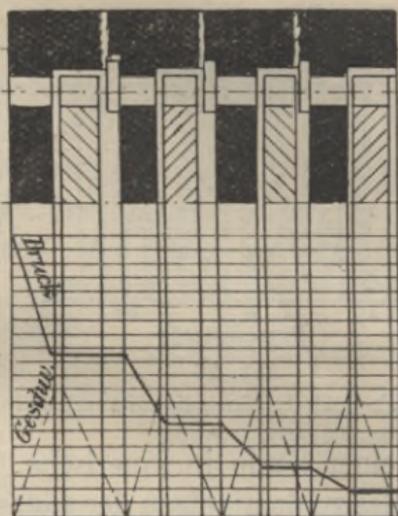


Abb. 24 a. Druckabstufung.

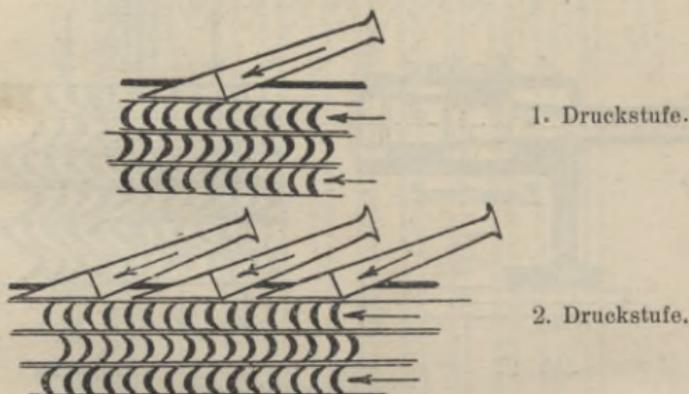


Abb. 25. Druck- und Geschwindigkeitsabstufung.

trittsgeschwindigkeit aus dem Laufrad steigt. Eine praktisch verwendbare Umfangsgeschwindigkeit läßt sich nur durch geringe Druckabstufung, also durch zahlreiche Druckstufen erreichen, mit jedesmaliger Einschaltung eines für die Richtungsänderung des Dampfes erforderlichen Leitschaufel-

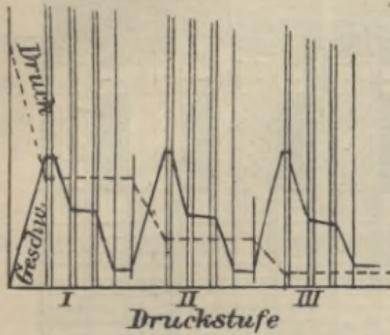


Abb. 26.

Druck- und Geschwindigkeitsverlauf.

rad einer Stufe in kinetische Energie umgesetzten Druckgefälles zu demjenigen der ganzen Stufe (Leit- und Laufrad) heißt der Reaktionsgrad der Stufe. Den Druck- und Geschwindigkeitsverlauf zeigt Abb. 29.

kranzes zwischen je zwei Laufschaufelkränzen, so daß sich durch eine genügend große Anzahl von Druckstufen die Umfangsgeschwindigkeit beliebig weit vermindern läßt. Die Leit- und Laufschaufelkränze können als einfache Mündungen angesehen werden. Das Verhältnis des im Lauf-

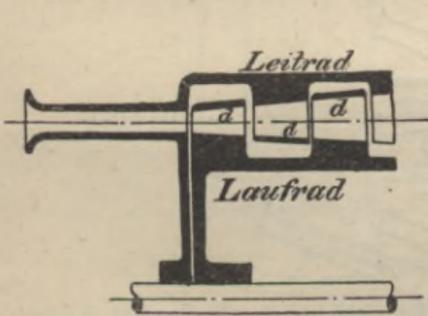


Abb. 27.

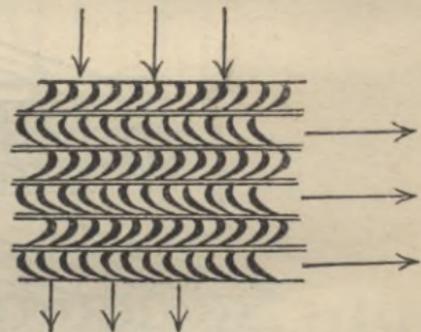


Abb. 28.

Überdruckwirkung.

d) **Kombinierte Turbinen** sind solche Druck- oder Überdruckturbinen, bei denen der Hochdruckteil durch ein Geschwindigkeitsstufenrad nach Abb. 17 ersetzt ist.

Bei den Geschwindigkeits-Druckstufenturbinen, Abb. 30, läßt man den Dampf in den Eintrittsdüsen auf 1 bis 2 Atmosphären expandieren und vermeidet dadurch den Übelstand reiner Druckturbinen, daß

hohe Temperaturen und hoher Druck bei dem heute verwendeten hoch überhitzten Dampf weit in die Turbine hineingelangen. Das noch übrige Druckgefälle hinter dem Geschwindigkeitsrad wird in Druckstufen ausgenützt.

Dadurch wird der Aufbau vereinfacht, die Baulänge der Turbine kürzer, und auch der Dampfverbrauch verbessert.

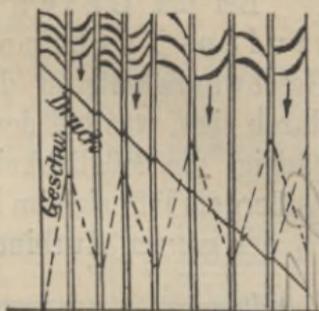


Abb. 29. Druck- und Geschwindigkeitsverlauf.

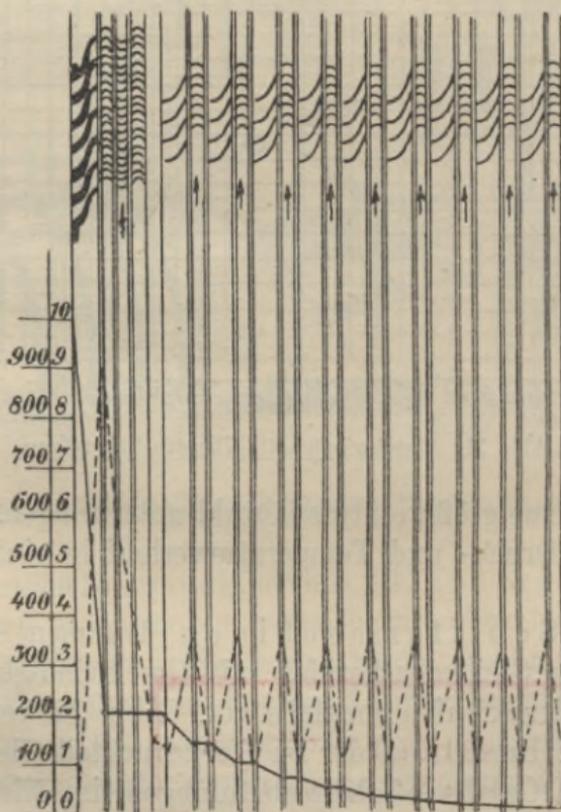


Abb. 30. Geschwindigkeits-Druckstufenanordnung.

Bei der Geschwindigkeits-Überdruckstufen-Turbine sind die Druckstufen hinter dem Geschwindigkeitsrad durch Überdruckstufen ersetzt, wodurch sich, was bei der reinen Überdruckturbine nicht zugänglich, die Möglichkeit teilweiser Beaufschlagung ergibt. Außerdem läßt sich im Mittel- und Niederdruckteil, die etwa  $\frac{3}{4}$  der ganzen Turbinenleistung erzeugen, trotz kleinerer

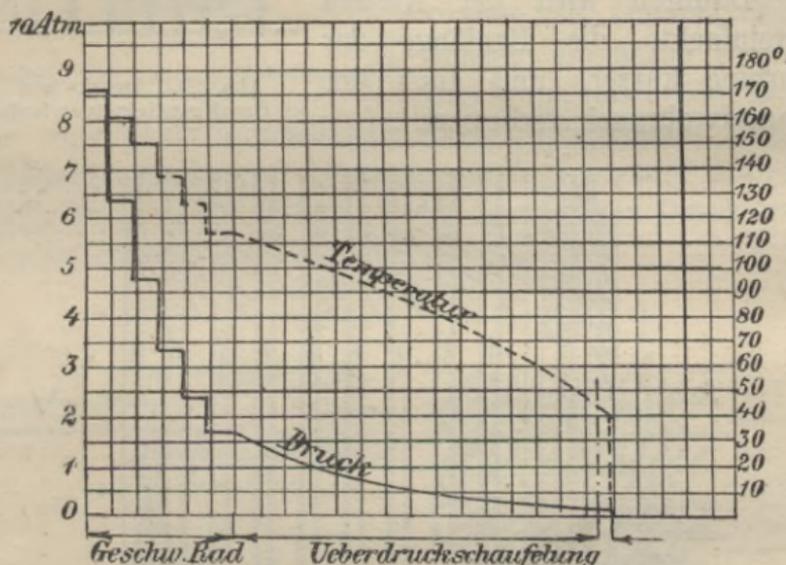


Abb. 31. Geschwindigkeits-Überdruckabstufung.

Baulänge eine größere Stufenanzahl unterbringen. Abb. 31 zeigt den Druck- und Temperaturverlauf in einer solchen Turbine.

Für Schiffsmaschinen kommen Kombinationen von Gleichdruckstufen mit Geschwindigkeitsstufen und Überdruckstufen ebenfalls vor. Abb. 32 verdeutlicht eine solche Bauart, bei der im Hochdruckteil Gleichdruckstufen mit Geschwindigkeitsabstufungen, im Niederdruckteil Überdruckstufen vorhanden sind, während die Turbine

für Rückwärtsfahrt wie der Hochdruckteil, jedoch mit mehr Geschwindigkeitsstufen ausgebildet ist.

2. Vergleich der Druck- und Überdruckwirkung des Dampfes.

a) Gleichdruck- oder Aktionsturbinen.

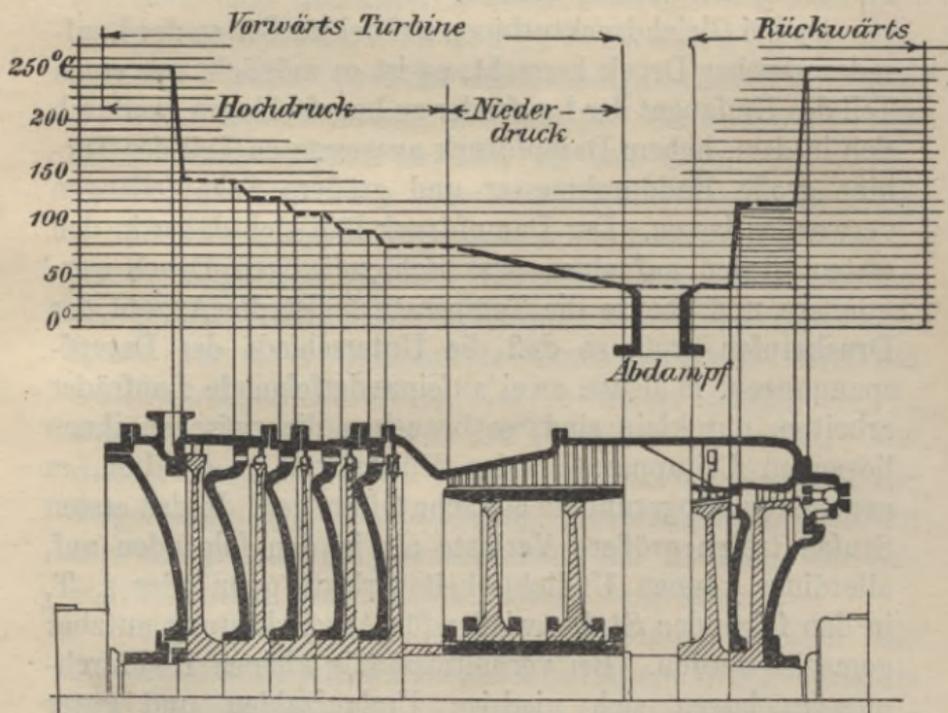


Abb. 32. Gleichdruck-Geschwindigkeit-Überdruckabstufung.

α) In allen Dampfturbinen mit alleiniger Druckwirkung des Dampfes vollzieht sich die Umsetzung in Strömungsenergie allein in den Düsen, die bei einstufigen Gleichdruckturbinen also vor dem Laufrad liegen müssen. Bei mehrstufigen Gleichdruckturbinen mit einer Geschwindigkeitabstufung müssen zwischen den Laufradkränzen Leiträder eingeschaltet sein, die allein der Umkehrung der

Dampfströmung für die Beaufschlagung des folgenden Laufrades dienen. Bei solchen mit Druckabstufung müssen zwischen je zwei Laufrädern Düsen oder Leitradkränze mit düsenartig wirkenden Querschnitten zwischen den Laufschaufeln angeordnet sein, die eine weitere Umsetzung der Strömungsenergie ermöglichen.

Da bei Gleichdruckturbinen auf beiden Seiten des Laufrades gleicher Druck herrscht, so ist es möglich, nur einen Teil des Umfanges der Laufräder zu beaufschlagen, wodurch sich in dem, hohem Dampfdruck ausgesetzten Teil der Turbine große Raddurchmesser und größere Schaufellängen verwenden lassen. Der Dampfdruck läßt sich daher in den ersten Stufen auf einen praktisch zulässigen Druck vermindern und ebenso die Temperatur. Ist die Anzahl der Druckstufen groß, so daß die Unterschiede der Dampfspannungen, in denen zwei aufeinanderfolgende Laufräder arbeiten, nur klein sind, so brauchen die zwischen ihnen liegenden Leitapparate keine Düsenform zu erhalten, es genügen gut abgerundete einfache Öffnungen. In den ersten Stufen treten größere Verluste als in den folgenden auf, allerdings können Undichtigkeitsverluste ganz oder z. T. in den folgenden Stufen wieder für Arbeitsleistung nutzbar gemacht werden. Bei verhältnismäßig kleinen Raddurchmessern lassen sich niedrige Umlaufzahlen und guter Wirkungsgrad erreichen, während die Stopfbüchsen auf der Hochdruckseite oft schwer dicht zu halten sind.

Soll in Druckturbinen mit mehreren Druckstufen in jeder Stufe dieselbe Energie ausgenutzt werden, so ist die Dampfgeschwindigkeit der Quadratwurzel aus der Stufenzahl umgekehrt proportional, denn wenn  $L$  mkg die Energie bezeichnet, so ist die Arbeitsleistung einer Stufe, wenn  $z$  Stufen vorhanden sind,  $L : z$ , und da dem gesamten Druckgefälle die Geschwindigkeit:

$$c_z = \sqrt{2g L}$$

entspricht, so ist für die Geschwindigkeit  $c$  einer Stufe:

$$c = \sqrt{2g L} : z = c_z : \sqrt{z}.$$

Für  $c_z = 1000$  m erhält man demnach, wenn  $c = 400$  m sein soll, eine Stufenzahl  $z = c_z^2 : c^2 = 6$ .

β) Bei Geschwindigkeitsabstufung läßt sich eine Verminderung der Geschwindigkeit besser erreichen als bei Druckabstufung, bei der die Streuung des Dampfstrahls größer ausfällt, als bei Geschwindigkeitsabstufung. Bei dieser müssen die ersten Laufräder mehr Arbeit leisten, als die folgenden, da bei noch großen Dampfgeschwindigkeiten gleichen Geschwindigkeitsunterschieden eine größere Arbeitsleistung entspricht. Die im ersten Laufkranz nur z. T. ausgenutzte Geschwindigkeit wird bei Geschwindigkeitsabstufung um so besser ausgenutzt, je weniger sich die Richtung des Dampfstrahls ändert. Aus diesem Grunde wird bei Curtis turbinen z. B. häufig die Bogenlänge der Beaufschlagung unveränderlich gehalten und die Schaufelhöhe entsprechend der Abnahme der Geschwindigkeit von Stufe zu Stufe vergrößert.

Bei mehrstufigen Curtisturbinen arbeiten die Zwischenstufen mit annähernd konstantem Druckverhältnis und deshalb auch mit annähernd konstanten Werten des Wärmegefälles.

Geschwindigkeitsräder mit zwei Laufkränzen ergeben bessere Wirkungsgrade, als solche mit drei, und im allgemeinen sind die Wirkungsgrade von Druckstufen von Leistungen von etwa 400 PS an etwas besser, als diejenigen von Geschwindigkeitsstufen, bei kleineren Einheiten sind die der letzteren höher.

b) Die Vorteile der Gleichdruck- gegenüber der Überdruckwirkung liegen in den

kleineren Dampfverlusten, der Möglichkeit größerer Spielräume zwischen Schaufeln und Gehäuse (4—6 mm) und darin, daß eine Abdichtung nur an der Durchtrittsstelle der Welle durch die Wandungen der Leitradsscheiben nötig ist. Außerdem läßt sich die Austrittsgeschwindigkeit eines Teils des Dampfes nach der Expansion noch ausnutzen, indem man die Düsen der folgenden Stufe, entsprechend der Bewegung des Dampfstroms auf dem Umfange des Laufrades, versetzt, wodurch unter Umständen bis 60% der lebendigen Kraft des Dampfes zurückgewonnen werden können.

c) **Überdruckturbinen.** Die ganze, angenähert adiabatische Expansion des Dampfes geht z. T. in den Laufrädern, z. T. in den Leitschaufeln vor sich, so daß Leit- und Laufschaufeln als Düsen wirken. Der Dampf kommt dabei, wie bei den Gleichdruckturbinen, teilweise durch seinen Druck auf die Schaufeln der Laufräder zur Wirkung, teilweise durch den bei seinem Austritt aus den Schaufeln erzeugten Rück-(Reaktions-)druck, wobei durch die Expansion in den Laufschaufeln auf der Ein- und Austrittsseite ein Druckunterschied erzeugt wird, der in seiner Gesamtheit einen Schub in der Strömungsrichtung erzeugt. In den Leit- und Laufrädern wird also die vom vorhergehenden Lauf- oder Leitrad herrührende Geschwindigkeit ausgenutzt.

Da durch die Überdruckwirkung, unter der Voraussetzung gleicher Umfangsgeschwindigkeit der Gleichdruckturbinen nur etwa das halbe Wärmegefälle, also die halbe Dampfgeschwindigkeit, aufgezehrt wird, so folgt, daß bei ersterer die doppelte Anzahl von Druckstufen vorhanden sein muß, wie für die gleichwertige Druckturbinen. Die unbeschränkte Stufenzahl und die kleinere Dampfgeschwindigkeit sind Vorteile, die für die Verminderung der Umfangsgeschwindigkeit wichtig sind. Eine Verkleinerung der Um-

fangsgeschwindigkeit läßt sich nur durch Vermehrung der Druckstufen ermöglichen.

Geschwindigkeitsstufen und teilweise Beaufschlagung sind nicht möglich, letztere nicht, weil auf beiden Laufradseiten ungleicher Druck herrscht und durch den Druckausgleich der nicht beaufschlagten Stufen zu große Verluste entstehen würden. Damit ist auch die Wahl des Durchmessers und also auch die Umfangsgeschwindigkeit von vornherein begrenzt.

Bei noch geringem spezifischen Volumen des in der Turbine arbeitenden Dampfes, also im Hochdruckteil, müssen die Raddurchmesser und die Schaufelhöhen klein gehalten werden, und um nicht zu kleine Höhen der letzteren zu erhalten, die Raddurchmesser um so kleiner.

Mit kleinen Durchmessern aber können nur kleine Wärmegefälle ausgenutzt werden und aus diesem Grunde wird man für ein gegebenes Drehmoment eine erhöhte Anzahl von Schaufelrädern anordnen müssen, so daß die Baulänge des Hochdruckteils verhältnismäßig groß wird und der Dampf mit hohem Druck und hoher Temperatur in den Hochdruckteil gelangt. Zu kleine Schaufellängen würden überdies wegen ihres Verhältnisses zum Spielraum zwischen Schaufeln und Gehäuse bzw. Trommel große Dampfverluste hervorrufen.

d) Man ist daher allgemein dazu übergegangen, den Hochdruckteil als teilweise beaufschlagte Hochdruckturbine mit einer oder mehr Geschwindigkeitsstufen auszubilden, und diese Bauart vereinigt geringeren Dampfverbrauch bei kleineren Belastungen mit großer Betriebssicherheit, geringer Baulänge und Billigkeit.

3. Nach dem Vorhergehenden lassen sich die Dampfturbinen nach folgenden Gesichtspunkten klassifizieren:

a) Der Leitapparat ist eine de Laval-Düse.

Die Dampfgeschwindigkeit kann höher werden als die kritische.

α) Einstufige Düsenturbinen. Sie verhalten sich wie einfache Düsen, der Dampf expandiert vollständig in einer Düse, das Laufrad hat keinen Einfluß auf die Dampfaufnahme.

β) Mehrstufige Düsenturbinen. Anwendung mehrerer hintereinandergeschalteter de Laval-Turbinen, die bei Vollbelastung die durch die Turbine strömende Dampfmenge bestimmen. Bei Teilbelastung kommt Überdruckwirkung zur Geltung.

b) Der Leitapparat besteht aus einfachen Ausflußöffnungen, gebildet aus Schaufeln.

Die Dampfgeschwindigkeit bleibt unter der kritischen (vieltufige Leitradturbinen). Sie sind im wesentlichen eine Kombination einfacher Mündungen, sie nutzen ein kleineres Wärmegefälle aus als Düsenturbinen und es sind viele Stufen erforderlich.

Nach der Anzahl der Geschwindigkeitsstufen und der Art der Überführung des Dampfes von einer Stufe zur anderen läßt sich folgende Einteilung treffen:

#### I. Gleichdruckturbinen.

1. Mit einer Geschwindigkeitsstufe in jeder Druckstufe.

2. Mit zwei oder mehr Geschwindigkeitsstufen in jeder

Druckstufe.

3. Mit verschiedenen Zahlen von Geschwindigkeitsstufen in jeder Druckstufe.

Jede dieser Gruppen kann wieder nach dem Gesichtspunkt unterteilt werden, ob:

a) der Dampf nach völligem Verlust der Austrittsgeschwindigkeit in die nächste Düsenreihe tritt, oder ob

b) der Dampf nach Verlassen der letzten Laufschaufel-

reihe einer Stufe ohne Verlust an Geschwindigkeit in die nächste Düsenreihe tritt.

II. Überdruckturbinen.

III. Kombination von Gleichdruckstufen mit Geschwindigkeitsabstufung mit

a) reinen Druckstufen,

b) Überdruckstufen.

Nach der Höhe der Spannung des zu- und abgeführten Dampfes lassen sich unterscheiden:

α) Hochdruckdampfturbinen mit Kondensation bzw. Auspuff.

β) Niederdruck- (Abdampf-) turbinen, bei denen unter Verwertung der Fähigkeit der Dampfturbinen, hohe Vakua wirtschaftlich auszunutzen, der Abdampf von Dampfmaschinen verarbeitet wird. Nimmt man z. B. von einer Hochdruckturbine mit Geschwindigkeitsrad in der ersten Stufe dieses fort, so bildet der übrigbleibende Teil eine Abdampfturbine.

γ) Zweidruckturbinen, die bei zeitweisem Mangel oder ungenügender Menge von Abdampf als Zusatz Frischdampf verarbeiten.

δ) Gegendruckturbinen, bei denen die die Turbine durchströmende Dampfmenge die Turbine mit einem Druck verläßt, der gestattet, die ganze Dampfmenge für Heizungs- oder Kochzwecke zu verwenden.

ε) Anzapfturbinen, d. h. Kondensations- turbinen, denen eine geringere Dampfmenge, als diejenige, die der Turbine entströmt, mit bestimmtem Druck aus einer Stufe für Heizungs- oder ähnliche Zwecke entnommen wird.

## Dritter Abschnitt.

---

### Geschwindigkeits-, Druck- und Dampfverluste in den Dampfturbinen; Leistung, Wirkungsgrad, Dampfverbrauch.

#### I. Geschwindigkeits-, Druck- und Dampfverluste.

1. Die Verluste beim Durchströmen des Dampfes durch die Dampfturbinen sind hauptsächlich Geschwindigkeitsverluste durch Dampfreibung in den Leitapparaten (Düsen) und in den Laufschaufeln, Stoß-, Wirbel- und Schwingungsverluste, Spaltverluste, Verluste durch Wärmeaustausch durch die Gehäusewandungen (Strahlungsverluste), Verluste durch Reibung der Laufräder in dem sie umgebenden Dampf (hydraulische Verluste), Ventilationsverluste, Austrittsverluste im letzten Laufrad, Stopfbüchsenverluste, Lager- und Stopfbüchsenreibung, Labyrinthverluste, Verluste in der vorhandenen Übersetzung, Kraftbedarf zum Antrieb der Kondensatorpumpen.

2. Düsenverluste. Sie können wie bei zylindrischen Röhren proportional der Düsenlänge und dem Quadrat der mittleren Durchflußgeschwindigkeit, dagegen umgekehrt proportional dem mittleren Düsendurchmesser gesetzt werden. Bei Gleichdruckturbinen, bei denen das ganze Druckgefälle in Geschwindigkeit umgesetzt wird, sind die Verluste am größten.

Über die Berechnung der Düsen mit Berücksichtigung der Verluste siehe S. 55 u. 57.

Bei Leitvorrichtungen mit parallelen Wandungen fand Christlein entgegen der bisher allgemein verbreiteten Auffassung, daß eine Verbesserung des Wirkungsgrades nach Überschreitung der kritischen Geschwindigkeit stattfand und daß bei steigender Überhitzung eine Verbesserung des Geschwindigkeitskoeffizienten  $\varphi_1$ , S. 55, eintrat.

3. Die Geschwindigkeitsverluste in den Laufschaufeln beruhen auf denselben Ursachen, wie die in den Düsen und werden, ebenso wie die in den Leiträdern, um so kleiner ausfallen, je stetiger die Richtungsänderung des Dampfes erfolgt und je gleichmäßiger die Umsetzung von Wärme in Arbeit vor sich geht. Hier sind noch die Verluste zu erwähnen, die von der plötzlichen Vergrößerung des Querschnitts an dem Ende jeder Stufe in der ausgeführten Turbine und beim Austritt in den Kondensator herrühren.

Besonders am Niederdruckteil von Überdruckturbinen ist der Geschwindigkeitskoeffizient so groß wie möglich zu halten, da hier ein Einfluß auf den Wirkungsgrad, wegen der größeren Schaufelwinkel, stärker zur Geltung kommt, als im Hochdruckteil, wo die Schaufelwinkel kleiner sind.

Für die relativen Ein- und Austrittsgeschwindigkeiten  $w_1$  und  $w_2$  ergeben sich die den Düsenverlusten, S. 55, entsprechenden Beziehungen.

$$w_2 = \varphi_2 w_1 \text{ und } \xi_2 = 1 - \varphi_2^2$$

also:

$$w_2 = w_1 \sqrt{1 - \xi_2}. \quad (47)$$

Bezeichnet  $c'_x$  die kritische Geschwindigkeit des die Schaufeln durchströmenden Dampfes, so kann gesetzt werden:

für  $w_1$  und  $w_2 < c'_x$  :  $\varphi_2 = 0,75 - 0,88$ ,  $\xi_2 = 0,4 - 0,26$ ,

„  $w_1$  „  $w_2 > c'_x$  :  $\varphi_2 = 0,65 - 0,75$ ,  $\xi_2 = 0,55 - 0,41$ .

#### 4. Stoß-, Wirbel- und Schwingungsverluste.

a) Besonders bei teilweiser Beaufschlagung von Gleichdruckturbinen treffen die Dampfstrahlen auch den nicht mit Leitschaufeln besetzten Umfang der Leiträder, sie werden z. T. zerstreut und hindern die gleichmäßige Wirkung des Dampfes in den Leit- und Laufschaufeln.

Macht man den Beaufschlagungsbogen konstant, so kann der Dampf in seiner Richtung weiter strömen, und Ausbreitung des Strahls findet nicht statt, so daß geringere Verluste an Geschwindigkeit beim Eintritt in das folgende Laufrad auftreten. Dadurch läßt sich der zur Ausbreitung des Dampfes bei Vergrößerung der Beaufschlagung erforderliche Raum verkleinern, und die Baulänge der Turbine kann etwas kleiner ausfallen.

Mit der Zunahme an Geschwindigkeit müssen die Stoßverluste wachsen, d. h. bei vielstufigen Turbinen werden sie am kleinsten sein, auch müssen sie bei Geschwindigkeitsabstufung auftreten, wobei die Umlenkung in den Leiträdern von ungünstigem Einfluß ist.

b) Bei den Überdruckturbinen wird durch die Überdruckwirkung des Dampfes eine Verdichtung des in das Laufrad eintretenden Strahls auf der Schaufelseite eintreten, so daß die Dampfdichte an der Schaufelfläche am größten, in den übrigen, weiter abliegenden Punkten kleiner ist. Im folgenden Leitrad aber kehrt sich das Dichtigkeitsverhältnis um, da die Berührung auf der entgegengesetzten Seite des Dampfstrahls erfolgt, was sich stetig wiederholt und Stöße und Wirbelbildungen erzeugt. Eine sorgfältige Wahl der Schaufelwinkel ist am Niederdruckende von besonderer Wichtigkeit, weil auf die letzten Stufen eine bedeutend größere **mittlere Leistung** (Gesamtleistung: Stufenzahl) kommt und durch die Stoßverluste

Wydziału Komunikacji przy A. G.

Rok ..... Lp. ....

dann ein großer Teil des Wärmegefälles schlecht ausgenutzt wird. In Überdruckturbinen dürfte der Arbeitsvorgang im ganzen gleichmäßiger vor sich gehen, als in Gleichdruckturbinen, da die Gelegenheit für Wirbelbildungen und Dampfstöße im allgemeinen nicht in demselben Maße vorhanden ist.

5. Spaltverluste. Unter diesen sind solche Verluste zu verstehen, die durch entweichenden Dampf erzeugt werden, der nicht in die arbeitenden Räder gelangt, also keine Arbeit leistet.

a) Bei Gleichdruckturbinen treten derartige Verluste auf in den Spielräumen an der Durchtrittsstelle der Wellen durch die Leiträder, bei Überdruckturbinen in den Spielräumen der Leit- und Laufschaufeln an der Trommel- bzw. Gehäusewandung sowie in den Labyrinthdichtungen der Ausgleichkolben.

Bei mehrstufigen Druckturbinen sind die Spaltverluste an den Radnaben der Leiträder in den ersten Stufen besonders groß, weil hier das Verhältnis des Spaltquerschnitts zum freien Schaufelquerschnitt viel größer ist, als in den Niederdruckstufen, das spezifische Volumen aber kleiner.

Alle Spaltverluste haben eine Vergrößerung der Entropie zur Folge, und es geht eine Drosselung des Dampfes bei der Durchströmung des Spaltes vor sich. Der Wärmeinhalt des gedrosselten Dampfes entspricht demjenigen der entsprechenden Schaufelreihe und es findet eine Mischung mit dem Dampf statt, der schon einen Teil seiner Arbeit abgegeben hat, vgl. S. 14.

Das Wärmegefälle in den Hochdruckstufen ist im allgemeinen kleiner anzunehmen, als in den Niederdruckstufen, wo auch wegen der größeren Schaufelwinkel der

günstigste Wert des Verhältnisses der Eintritts- zur Umfangsgeschwindigkeit an sich größer ist.

Strömen stündlich  $G$  kg Dampf durch die Turbine und davon  $y G$  kg durch den Spalt, wobei  $y < 1$ , so wird bei einem indizierten Wärmegefälle von  $i_1$  WE einer Stufe, ohne sonstige Verluste zu berücksichtigen, in dieser Stufe nur eine Leistung:  $N_{i_1} = (1 - y) G \cdot i_1 : 632$  PS erzeugt.

Um für Gleichdruckturbinen ohne Geschwindigkeitsabstufung den Dampfverlust  $G_n$  kg durch den Nabenspalt zu berechnen, wird dieser als einfache Mündung angesehen, wobei die im Nabenspalt auftretende Geschwindigkeit  $c_n$  zu etwa 70% der bei adiabatischer Expansion auftretenden angenommen werden kann. Hat der Spalt eine radiale Höhe von  $s$  mm und beträgt der Wellendurchmesser  $d_w$  mm, sowie  $V_s$  cbm das Volumen des hindurchtretenden Dampfes, so ist bei  $c_1$  m Geschwindigkeit des in den Spalt tretenden Dampfes genügend genau:

$$G_n = \frac{0,0079 \cdot d_w \cdot s \cdot c_1}{V_s} \text{ cbm/stdl.} \quad (48)$$

für  $V_s$  kann dabei das Volumen des Enddrucks der Stufe gesetzt werden.

Erhöht man, wie es bei Zöllyturbinen z. B. geschieht, die absolute Eintrittsgeschwindigkeit in den ersten Stufen bis nahe an die kritische Geschwindigkeit  $c_x$  und damit auch das spezifische Volumen, das dem Enddruck der Stufe entspricht, so lassen sich die Spaltverluste sehr vermindern, so daß sie auf 12–15% des hindurchströmenden Dampfgewichts sinken.

Bei Gleichdruckturbinen mit Geschwindigkeitsabstufung, bei denen adiabatische Zustandsänderung für den Spalt der zweiten Stufe

zwischen Zwischenboden und Welle angenommen wird, ist das der kritischen Geschwindigkeit  $c_x$  entsprechende Volumen  $V_x$  einzuführen und es wird:

$$G_n = \frac{0,0113 d_w \cdot s \cdot c_x}{V_x} \text{ kg/stdl.} \quad (49)$$

b) Überdruckturbinen erfordern stets kleine Spielräume, um den unbeabsichtigten Durchtritt des Dampfes von einer Stufe zur anderen möglichst zu vermeiden, wenn auch dem Arbeitsdampf durch den übertretenden Dampf Energie in Form von Wärme zugeführt wird, so daß ersterer überhitzter, also trockner wird, was darum wünschenswert erscheint, weil der Dampf durch die adiabatische Expansion bedeutende Feuchtigkeitsmengen enthält. Eine Rechnung kann allerdings nur für Schaufeln gelten, die an ihrem oberen Ende nicht durch einen Abschlußring verbunden sind. Man kann dabei annehmen, daß die durch den Spalt und die Schaufeln gehende Dampfmenge  $G$  kg/stdl. sich wie die freien Durchflußquerschnitte verhalten, der Verlust wird demnach, wenn  $s$  die mittlere Spaltbreite,  $D_g$  und  $D_t$  die mittleren Gehäuse- bzw. Trommeldurchmesser in einer Abstufung bedeuten, betragen:

$$G_s = \frac{2s}{D_g - D_t - 2s} \cdot G \text{ kg/stdl.} \quad (50)$$

Der durch den Spalt zwischen Laufschaufel und Gehäuse tretende Dampf ist für die Leistung verloren, dagegen wird ein Teil des zwischen Leitschaufel und Trommel durchtretenden Dampfes noch ausgenutzt, wenn auch unter starken Verlusten durch Streuung.

Trennt man die Verluste in den Spalten zwischen Gehäuse und Laufschaufel und zwischen Leitschaufel und Trommel, so strömt durch den letzteren die Dampfmenge

$$G_1 = F \frac{c_1}{V} = 3600 \cdot \frac{(D_t + 0,5 s) \pi s}{1000000} \cdot \frac{c_1}{V}$$

$$= 0,36 (D_t + 0,5 s) \pi s \cdot \frac{c_1}{100} \cdot \frac{1}{V}, \text{ kg/stdl.} \quad (51)$$

durch ersteren:

$$G_2 = 0,36 (D_g - 0,5 s) \pi s \frac{c_1}{100} \cdot \frac{1}{V} \text{ kg/stdl.} \quad (52)$$

Ersetzt man  $c_1$ , dabei Überdruckturbinen für eine aus Leit- und Laufrad bestehende Stufe meist die Hälfte des in beiden auftretenden Gefälles in Geschwindigkeit umgesetzt wird, durch  $91,5 \sqrt{0,5 i_m}$ , wenn  $i_m$  das im Mittel gerechnete Wärmegefälle bedeutet, das auf eine Stufe entfällt, also  $i_m =$  Gesamtes Wärmegefälle : Stufenzahl, so folgt:

$$G_1 = 0,36 (D_t + 0,5 s) \pi s \cdot 0,915 \sqrt{\frac{i_m}{2}} \cdot \frac{1}{V_m} \text{ kg/stdl.} \quad (53)$$

$$G_2 = 0,36 (D_g - 0,5 s) \pi s \cdot 0,915 \sqrt{\frac{i_m}{2}} \cdot \frac{1}{V_m} \text{ kg/stdl.,} \quad (54)$$

so daß im ungünstigsten Falle für die Leistung

$$G_1 + G_2 = [0,74 (D_t + D_g) s \sqrt{i_m}] : V_m \text{ kg/stdtl.} \quad (56)$$

verloren gehen. Will man diese ungünstigste Annahme nicht machen, so kann man 0,74 in Glg. (56) durch 0,50 ersetzen.

Durch die Schaufeln strömt etwa noch die Hälfte des gesamten Spaltverlustes, für ihre Berechnung kann daher etwa als Verlust:

$$G_s = 0,38 (G_1 + G_2) \quad (55)$$

gesetzt werden.

Die auszuführende Schaufellänge wird von dem Spaltverlust beeinflußt, da das Dampfvolument größer wird, also auch die Schaufellängen etwas wachsen müssen, was aber

bei der praktischen Herstellung der Verschauflung durch leichte Vergrößerung der Schaufelwinkel, also der Durchgangsquerschnitte, erreicht wird.

Die Spaltverluste betragen von der gesamten Dampfmenge im:

	Hochdruckteil	Mitteldruckteil	Niederdruckteil
für die Leistung .....	12 % — 5 %	5 % — 2,5 %	2,5 % — 1,5 %
für die Schaufelquerschnitte.	9 % — 3½ %	3½ % — 1,75 %	1,75 % — 1,25 %

c) Einen ungefähren Überblick über die Größe der Spaltverluste geben die folgenden Zusammenstellungen:

α) Gleichdruckturbine mit 20 Druckstufen:

	Kammer 1	2	3	4	5
Druck kg/qcm .....	9,1	7,55	6,36	5,15	4,46
Spaltverlust { Spaltweite 0,1—0,2 mm	3,45	2,62	2,54	2,19	1,9
kg/qmm, stdl. { „ 1 mm .....	4,18	3,6	3,0	2,66	2,3
	Kammer 6	7	8	9	10
Druck kg/qcm .....	3,81	3,2	2,68	2,56	2,17
Spaltverlust { Spaltweite 0,1—0,2 mm	1,58	1,35	1,11	0,93	0,75
kg/qmm, stdl. { „ 1 mm .....	1,92	1,64	1,35	1,13	0,92
	Kammer 11	12	13	14	15
Druck kg/qcm .....	1,79	1,53	1,02	0,865	0,72
Spaltverlust { Spaltweite 0,1—0,2 mm	0,65	0,56	0,40	0,293	0,23
kg/qmm, stdl. { „ 1 mm .....	0,79	0,68	0,48	0,35	0,28
	Kammer 16	17	18	19	20
Druck kg/qcm .....	0,55	0,27	0,23	0,14	0,1
Spaltverlust { Spaltweite 0,1—0,2 mm	0,187	0,14	0,093	0,046	0,023
kg/qmm, stdl. { „ 1 mm .....	0,25	0,17	0,112	0,056	0,028

β) Überdruckturbine von 3 Abstufungen und 8 Schaufelgruppen:

Schaufelgruppe	1	2	3	4
Druck kg/qcm .....	10,5	7,2	4,12	2,4
Spaltverlust kg/qmm stdl., 0,2 mm Spaltweite .....	0,83	0,48	0,43	0,243

Schaufelgruppe	5	6	7	8
Druck kg/qcm .....	1,2	0,685	0,345	0,172
Spaltverlust kg/qmm stdl., 0,2 mm Spaltweite .....	0,187	0,117	0,056	0,043

6. Verluste in Labyrinthdichtungen.

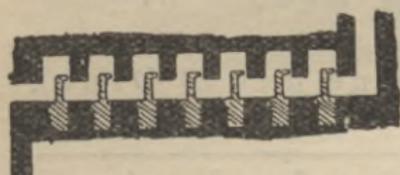


Abb. 33 Labyrinthdichtung.

a) Grundsätzlich bestehen Labyrinthdichtungen, Abb. 33, aus Bunden verschiedener Querschnittsformen, die in den rotierenden Teil eingedreht sind und in unmittelbarer Nähe anderer am Gehäuse fest-

stehender Bunde laufen, so daß eine Anzahl Kammern entsteht, die durch sehr enge Spalten miteinander verbunden sind. Das Hauptmerkmal dieser Dichtungen ist das völlige Fehlen von Reibungswiderständen. Der durch die gebildeten Kammern hindurchtretende Dampf wird einer so großen Anzahl von Drosselungen und darauf folgenden Wirbelungen ausgesetzt, daß die wirklich ins Freie gelangende Dampfmenge verschwindend klein ist. Man nimmt gewöhnlich an, daß die austretende Dampfmenge nicht mehr als  $\approx 2\%$  des Gesamtdampfverbrauchs betragen soll.

Bezeichnet  $F$  den Querschnitt eines Ringspaltes,  $p_1$  kg/qcm den Anfangs-,  $p_2$  den Enddruck des Dampfes,  $V_1$  cbm/kg das spezifische Dampfvolumen,  $z$  die Anzahl der

Drosselspalte,  $\varepsilon = p_1 : p_2$  das Expansionsverhältnis des Dampfes beim Strömen von einer Kammer zur anderen, so wird das sekundlich ausströmende Dampfgewicht  $G_s$  kg angenähert ausgedrückt durch:

$$G_s = 313 F \sqrt{\frac{p_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^2 \right]}{V_1 \left( z + \ln \left( \frac{p_1}{p_2} \right) \right)}}. \quad (56)$$

Die Anzahl  $z$  der erforderlichen Labyrinth ergibt sich für ein Expansionsverhältnis  $\varepsilon = p_1 : p_2$  aus:

$$z = \simeq 90000 \frac{F^2}{G_s^2} \cdot \gamma \left( p_1 - \frac{p_2}{\varepsilon} \right). \quad (57)$$

Beispiel: Welche Dampfmenge strömt stündlich durch die Labyrinthdichtung von 430 mm Durchmesser, wenn der Drosselspalt  $d = 0,48$  mm breit ist, der Druck des eintretenden Dampfes  $p_1 = 11,85$ , der des austretenden Dampfes  $p_2 = 4,55$  kg/qcm beträgt und  $z_1 = 16$  Labyrinth vorhanden sind.

Das Dampfvolumen ergibt sich  $V_1 = \simeq 0,17$  cbm/kg, folglich

$$G_s = 313 \cdot 0,43 \pi \cdot 0,00048 \sqrt{\frac{11,85 \left[ 1 - \left( \frac{4,55}{11,85} \right)^2 \right]}{0,17 \cdot 16,93}} = 0,39 \text{ kg.}$$

b) Für den Dampfverlust  $G_k$  kg/stdl., der von den Labyrinthdichtungen der Ausgleichkolben bei Überdruckturbinen herrührt, ist nach Stodola zu setzen, wenn  $F$  qm den Querschnitt des Spaltes,  $p_1$  bzw.  $p_2$  kg/qcm die Dampfdrücke vor und nach dem Entlastungskolben,  $V_1$  cbm/kg das spezifische Dampf-

gewicht vor dem Dichtungskolben,  $z$  die Anzahl der Labyrinthkammern bedeutet, wenn:

$$p_2 > p_1 \frac{0,85}{\sqrt{z + 1,5}}, \quad (57)$$

$$G_k = 3600 \left( 1 - 3,13 F \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{z p_1 V_1}} \right). \quad (58)$$

Ist dagegen:  $p_2 < p_1 \frac{0,85}{\sqrt{z + 1,5}}$ , so folgt:

$$G_k = 3600 \left( 1 - 3,13 F \sqrt{\frac{p_1}{z + 1,5}} \right). \quad (59)$$

7. Die Verluste durch äußere Wärmestrahlung sind an den in hohen Dampftemperaturen arbeitenden Teilen der Turbine größere, als bei niedrigeren, da der heißere Dampf eine größere Wärmemenge nach außen abgibt, als der weniger heiße. Daher wird bei den Systemen, die nur eine Reihe von Expansionsdüsen benutzen, der Verlust durch Wärmestrahlung geringer sein, als bei den übrigen Anordnungen. Mit größerer Konstruktionslänge wird der Verlust, der im übrigen nur geringe Bedeutung hat, zunehmen. Der durch Wärmeausstrahlung erzeugte Verlust an Leistung ist jedoch nicht das mechanische Äquivalent der Wärmestrahlung. Durch Versuch läßt sich der Betrag der Wärmestrahlung ermitteln, indem man durch die an der Drehung gehinderte Turbine eine gleichbleibende Dampfmenge von gleichbleibendem Druck und konstanter Temperatur beim Eintritt und konstantem Vakuum beim Austritt so lange durch die Turbine schiebt, bis die an verschiedenen Stellen zu messenden Temperaturen unveränderlich bleiben. Aus der Menge des die Turbine wirklich durchströmenden Dampfes und dem Unterschied seines Wärmeinhaltes folgt dann die durch

Leitung und Strahlung an die Außenluft abgegebene Wärme.

8. **Reibungsverluste.** Die beim Durchströmen der Düsen und Schaufeln auftretenden Reibungsverluste sind schwierig zu ermitteln, einwandfreie Werte liegen zurzeit nicht vor.

a) Sie sind im allgemeinen um so größer, je größer die Dampfgeschwindigkeit ist, und ändern sich annähernd mit der dritten Potenz der Umdrehungszahlen  $n$ , linear mit dem Dampfdruck und dem spezifischen Gewicht des Dampfes und der fünften Potenz des Raddurchmessers  $D$ .

Zunahme der Überhitzung vermindert, nasser Dampf vergrößert die Reibungsverluste. Bei Verwendung einer Düse sind die Verluste jedenfalls kleiner, als wenn zwei, deren Querschnittssumme gleich der ersteren ist, benutzt werden, auch mehrere Düsenreihen wirken auf Vergrößerung der Reibung. Bei kleinen Geschwindigkeiten scheint die Reibung proportional, bei größeren proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit zu sein, bei sehr großen Geschwindigkeiten aber wächst sie schneller als das Quadrat.

b) Turbinen mit zwei Geschwindigkeitsstufen für jede Druckstufe haben jedenfalls größere Verluste durch Dampfreibung an den Schaufeln, als solche mit nur einer Geschwindigkeitsstufe für jede Druckstufe, so daß ihr Wirkungsgrad geringer ausfällt.

Erfolgt bei Gleichdruckturbinen die Umsetzung in kinetische Energie nur in einer Düse und wird die Verminderung der Umfangsgeschwindigkeit durch Geschwindigkeitsstufen erzielt, so muß, da alle Räder in Abdampf arbeiten, theoretisch eine vorteilhaftere Arbeitsweise vorliegen.

c) Bei Überdruckturbinen sind alle Schaufeln der Lauf- und Leiträder mit Dampf ausgefüllt und deshalb sind die Reibungsverluste nur gering. An den Rad-

umfängen tritt eine, wenn auch vielleicht unwesentliche Vergrößerung der Reibung wegen der durch die Zentrifugalkraft angestauten Dampfmenge auf.

d) Von weit bedeutenderem Einfluß sind dagegen die Verluste durch Reibung der Stirnflächen der Laufräder an dem umgebenden Dampf. Die Verluste werden hauptsächlich durch Oberflächenreibung und Wirbelbildung erzeugt, die getrennt schwer zu ermitteln sind, aber durch glatte, nicht oxydierbare Scheibenoberflächen vermindert werden müssen.

e) Die sekundlich durch die Reibung aufgezehrte Arbeit ist etwa proportional der dritten Potenz der Umläufe.

Da die Reibungsverluste mit  $D^5 n^3$  und die Radgeschwindigkeiten mit  $D n$  schwanken, so muß bei unveränderlicher Radgeschwindigkeit  $D^3 n^2$  konstant sein. Für eine gegebene Umlaufzahl ändern sich also die Reibungsverluste mit  $D^2$ , d. h. der Radoberfläche, und deshalb sind kleinere Räder mit hohen Umlaufzahlen in bezug auf Reibungsverluste ungünstiger als größere und langsam laufende Räder.

Vergleicht man z. B. Turbinen mit einer Druckstufe mit einer solchen mit  $z$  Druckstufen, so ist die Umlaufzahl der letzteren  $\sqrt{z}$  mal geringer, als die der ersteren, jedoch wird die mittlere Dichtigkeit des Dampfes, in dem die Räder mehrstufiger Turbinen rotieren, größer sein, als bei der einstufigen Turbine und infolge davon auch der Reibungsverlust.

f) Die Reibungsarbeit einer Stufe bewirkt Vergrößerung des Wärmeinhaltes der nächsten Stufe, wird also nutzbar verwertet. Beim Austritt aus der Turbine äußern sich diese Verluste in einer höheren Erzeugungswärme, als dies bei adiabatischer Zustandsänderung der Fall sein würde.

Bei Verwendung trocknen gesättigten Dampfes wird nur das letzte Rad von mehrstufigen Druckturbinen in Dampf von demselben spezifischen Dampfgehalt wie bei der einstufigen Druckturbine laufen, alle anderen Räder laufen in trocknerem Dampf. Da aber, wie erwähnt, nasser Dampf die Reibungsverluste steigert, so wirkt das zugunsten der mehrstufigen Gleichdruckturbine, jedoch wird der Einfluß größerer Dampfdichte immerhin bedeutender sein, als höherer spezifischer Dampfgehalt.

Bei Überdruckturbinen, deren Schaufeln auf dem Umfange von Trommeln befestigt sind, ist die Stirnseite am Einströmende der Turbine vor der Reibung mit dem hochgespannten Dampf geschützt, so daß der Drehungswiderstand gering ausfällt.

Für alle Arten Gleichdruckturbinen kann bei  $u$  m Umfangsgeschwindigkeit die Radreibungsarbeit  $N_r$  PS an der glatten Scheibe nach Stodola gesetzt werden:

$$N_r = \beta D^2 u^3 \sum (\gamma) : 100^3 \text{ PS}, \quad (60)$$

worin  $\sum (\gamma)$  die Summe der spezifischen Gewichte des Dampfes bedeuten, worin alle Räder laufen. Da nun  $D = 60 u : \pi n$ , so folgt, wenn  $c_1$  die Dampfgeschwindigkeit bezeichnet:

$$N_r = 365 \beta \cdot \left( \frac{u}{c_1} \right)^5 \cdot \frac{c_1^5}{n^2} \sum (\gamma) : 100^3. \quad (61)$$

Als Werte von  $\beta$  können gesetzt werden:  $\beta = 2 - 8$ , und zwar ist bei voller Beaufschlagung und Einkapselung des Rades  $\beta$  klein, bei partieller Beaufschlagung und weitem Spiel des Rades  $\beta$  groß. Dieselben Werte gelten für Gleichdruckturbinen mit Ausnutzung der Austrittsgeschwindigkeit im darauffolgenden Leitrad. Demnach ist  $\beta$  für die Hochdruckseite von Turbinen groß, für die

Niederdruckseite klein. Für die Laval-Turbinen ist  $\beta = \sim 6$ , für wiederholte Beaufschlagung desselben Laufrades:  $\beta = 2$ , für Geschwindigkeitsabstufung auf dasselbe Laufrad nach Curtis:  $\beta = 5 - 9$ , für Gleichdruckturbinen Bauart Zoelly und Rateau:  $\beta = \sim 4$ .

9. Ventilationsverluste. Da die Radschaufeln große Umfangsgeschwindigkeiten  $u$  besitzen, so bringen sie, ähnlich wie bei Ventilatoren, Wirbelungen in dem sie umgebenden Dampf hervor, die um so größer sind, je geringer der beaufschlagte Radbogen ist. Bei Druckturbinen entsteht in jeder Dampfkammer wahrscheinlich eine Dampfströmung, die einen Druckunterschied an der Nabe und am Umfang erzeugt und eine zur Nabe gerichtete Gegenströmung entlang der Scheidewand hervorruft. Die durch diese Bewegung und durch die Reibung entstehende Wärme wird in den folgenden Expansionen nur zum Teil ausgenutzt, so daß die Leistung der Scheiben vermindert wird.

Bei  $z$  Schaufeln eines Rades kann die durch Ventilationswiderstand verzehrte Arbeit annähernd proportional dem Produkt  $\alpha \gamma^z u^3$  gesetzt werden, worin  $u$  die Umfangsgeschwindigkeit,  $\gamma$  das spezifische Dampfgewicht,  $\alpha$  eine Versuchszahl bedeutet. Stodola setzt die Ventilationsarbeit  $N_v$  in PS, bei  $l$  cm Schaufellänge:

$$N_v = 0,83 D u^3 \gamma \sqrt{l^2}^3 : 100^3. \quad (62)$$

10. Unter Leerlaufarbeit  $N_0$  ist die Summe  $N_r + N_v$  PS vermehrt, um den durch die Lagerreibung bedingten Arbeitsbetrag anzusehen, letztere kann nur schätzungsweise bestimmt werden. Wenn sie auch höchstens 1% betragen dürfte, so ist es bei Neuberechnungen wichtig, sie einschließlich der Ventilationsverluste, der Reibung in den Antriebsteilen der Ölpumpen und Regulatoren auf etwa

3% zu schätzen. Bei Vorhandensein von Vorgelegen ist sie erheblich höher, je nach der Maschinengröße von 3—12%.

Demnach ergibt sich als Leerlaufarbeit  $N_0$ , wenn  $N_e$  PS die effektive Leistung bedeutet

$$N_0 = \simeq N_r + N_v + 0,03 N_e. \quad (63)$$

Das durch die Wirkung der Fliehkraft mit in Drehung versetzte Wasser kann bei Dampfturbinen besonders bei der Verwendung gesättigten Dampfes einen Verlust an Arbeit herbeiführen, so daß eine gute Entwässerung der einzelnen Stufen erforderlich wird.

11. Austrittsverlust. Beim Austritt aus der Turbine besitzt der Dampf noch eine gewisse absolute Austrittsgeschwindigkeit  $c_2$ , und die dadurch der Ausnutzung in der Turbine entzogene Arbeit beträgt für 1 kg Dampf sekundlich:  $c_2^2 : 2g$  mkg.

In PS beträgt der Austrittsverlust für  $G_s$  kg:

$$N_a = \frac{G_s}{632} \cdot \frac{1}{427} \cdot \frac{1}{2g} c_2^2 \text{ PS}. \quad (64)$$

Wird die Austrittsgeschwindigkeit vernichtet und der Austrittsverlust in Wärme umgewandelt, so steigert sich die Entropie. Einen bestimmenden Einfluß auf den Austrittsverlust hat außer der stündlichen Dampfmenge das spezifische Volumen beim Austritt aus der letzten Schaufelreihe, d. h. das im Kondensator vorhandene Vakuum und der freie Austrittsquerschnitt. An der Größe des Austrittsverlustes läßt sich durch konstruktive Maßnahmen an der Verschauflung wenig ändern.

## II. Leistung, Wirkungsgrad, Dampfverbrauch.

### 1. Leistung.

a) Die theoretische Gesamtleistung einer Turbine entspricht dem theoretisch verfügbaren Wärmegefälle.

Werden von der am Umfange der Turbinenräder geleisteten Arbeit sämtliche in der Turbine auftretende Verlustarbeiten abgezogen, so ergibt sich die effektive Leistung  $N_e$  PS.

b) Praktische Ermittlung der effektiven Leistung.

$\alpha$ ) Eine der Kolbenmaschine entsprechende indizierte Leistung  $N_i$  PS läßt sich bei Dampfturbinen nicht direkt ermitteln, sondern kann nur schätzungsweise aus der effektiven bestimmt werden. Für den Vergleich der Leistung von Dampfturbinen und Kolbendampfmaschinen müßte auch die effektive Leistung der letzteren zugrunde gelegt werden, was aber selten geschieht, weil zuverlässige Werte kaum erhalten werden können, und so bildet nur der effektive thermodynamische Wirkungsgrad  $\eta_e$ , d. h. das Verhältnis der von 1 kg Dampf an der Maschinenwelle geleisteten zu der theoretisch bei adiabatischer Expansion freiwerdenden Arbeit, einen Maßstab. Jedoch unterscheidet sich die Leistung an der Turbinenwelle von der effektiven Leistung um den Betrag der äußeren Reibungsarbeit der Turbine, also der Traglager, des etwa vorhandenen Kammlagers, des Antriebs des Regulators, der Arbeit der Schmierölpumpen, die als mechanische Verluste zusammengefaßt werden.

$\beta$ ) Bei Dampfturbinen, die zum Antrieb elektrischer Generatoren dienen, ist die Bezugnahme auf eine effektive elektrische Leistung sehr bequem, da sich diese aus der Leistung für eine effektive Kilowattstunde leicht ermitteln läßt und durch direkte Ablesung an den Meßinstrumenten im Vergleich mit dem Speisewasserverbrauch zu ermitteln ist.

Während für die wärmetechnische Beurteilung von Dampfturbinen die Leistung an der Welle maßgebend ist,

muß die Effektivleistung aus der elektrischen Nutzleistung, vermehrt um die Einzelwiderstände des Generators, bestimmt werden. Die direkte Messung der Leistung an der Welle erfolgt durch *Torsions-Dynamometer*, deren es eine größere Anzahl von Konstruktionen gibt. Sie geben jedoch nur für lange Wellen, z. B. Wellenleistungen der Propeller für Schiffe, gute Ergebnisse, für kurze Wellen genügt die Verdrehung der Wellen meist nicht.

## 2. Wirkungsgrad.

a) Man bezeichnet mit *thermodynamischem Wirkungsgrad* das Verhältnis der einer PS entsprechenden Wärmemenge zu der dem Dampfverbrauch für diese Leistung entsprechenden.

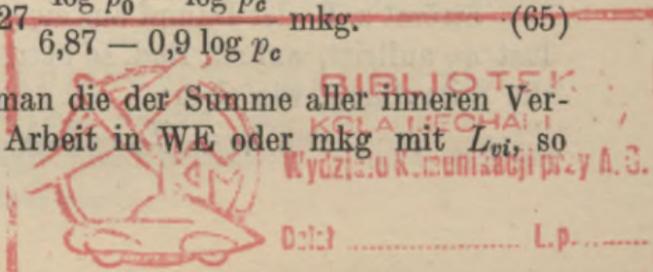
Wenn z. B. der Dampfverbrauch für eine effektive PS 5 kg beträgt und der Dampf vom Anfangsdruck  $p_1 = 13$  Atm. in der Düsenkammer absolut und  $300^\circ\text{C}$  Überhitzung auf den Kondensatordruck  $p_2 = 0,1$  Atm. expandiert, so werden hierbei 198 WE für 1 kg frei. Die Turbine braucht also  $5 \cdot 198 = 990$  WE, der Leistung von 1 PS entsprechen 637 WE, folglich:

$$\eta_e = 637 : 990 = 0,64.$$

Bezeichnet  $L_0 = i_0 - i_c$  WE den Unterschied des Wärmeinhalts des Dampfes in der Düsenkammer und im Austrittsstutzen bei reibungsfreier adiabatischer Zustandsänderung, so beträgt die entsprechende Leistung in mkg:  $L_0 = 427 (i_0 - i_c)$  und für die entsprechenden Drücke  $p_0$  und  $p_c$  kg/qcm kann nach *Mollier* gesetzt werden:

$$L_0 = 427 \frac{\log p_0 - \log p_c}{6,87 - 0,9 \log p_c} \text{ mkg.} \quad (65)$$

b) Bezeichnet man die der Summe aller inneren Verluste entsprechende Arbeit in WE oder mkg mit  $L_{ei}$ , so



würde  $L_0 - L_{vi}$  die am Umfang der Räder abgegebene Arbeit sein, so daß der sog. indizierte Wirkungsgrad, besser Umfangswirkungsgrad genannt, ist:

$$\eta_i = (L_0 - L_{vi}) : L_0. \quad (66)$$

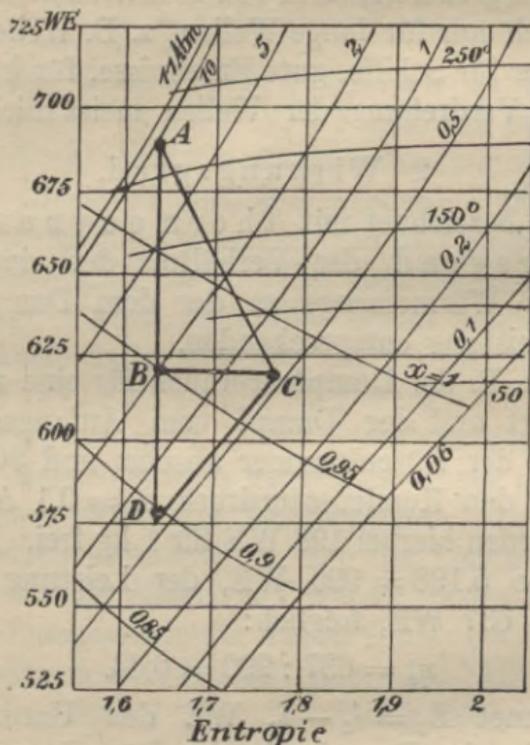


Abb. 34. Ermittlung von  $\eta_i$  im IS-Diagramm.

Ebenso wie für die ganze Turbine, läßt sich  $\eta_i$  für jede Stufe einzeln bestimmen, so daß die indizierte Arbeit beträgt:

$$L_i = L_0 \cdot \eta_i.$$

Strömt z. B. der Dampf aus einer Düse, in der ein Verlust  $\varphi_1$  auftritt, auf ein Rad, so betrage für die Düse und die Schaflung, wie oben:

$$\eta_i = (L_0 - L_{vi}) : L_0.$$

Für die Schaufelung allein:

$$\eta_i = (L_0 - L_{vi}) : (L_0 - \varphi_1 L_0). \quad (68)$$

$\eta_i$  rührt von den Dampfreibungs- und Wirbelverlusten in Leitapparaten und Schaufelung her, und wie schon bemerkt, bewirkt die Reibungsarbeit einer Stufe eine nutzbar zu verwendende Vergrößerung des Wärmeinhalts der folgenden. Beim Austritt aus der Turbine äußern sich diese Verluste in einer höheren Erzeugungswärme, als es bei adiabatischer Zustandsänderung der Fall wäre.

Durch Bestimmung der Dampfzustände in der Düsenkammer und beim Verlassen der Turbine läßt sich  $\eta_i$  messen, wobei diese Dampfzustände im *IS*-Diagramm eingetragen werden können. Bedeutet in Abb. 34 *AD* das theoretische adiabatische Wärmegefälle, *AC* die tatsächliche Zustandsänderung, so wäre *AB* das wirklich verwertete Wärmegefälle, und es ist:

$$\eta_i = AB : AD = (i_A - i_B) : (i_A - i_D)$$

wenn  $i_A, i_B, i_D$ , die den Zuständen *A, B, D* entsprechenden Wärmeinhalte bedeuten.

Bei Gleichdruckturbinen wird  $\eta_i$  durch eine Parabel dargestellt, Abb. 35, deren höchste Ordinate sich für  $\eta_i = \simeq 0,80$  ergibt, wenn Umfangsgeschwindigkeit  $u$ : Dampfgeschwindigkeit  $c_1 = \simeq 0,5$  ist, unter Berücksichtigung der Reibungsverluste ist  $\eta_{i \max} = \simeq 0,75$ . Für Überdruckturbinen, Abb. 36, ergibt sich für  $u : c_1 = \simeq 1$ ,  $\eta_i = \simeq 0,9$ . Man ist aber wegen der Herstellungskosten gezwungen  $u : c_1 < 0,5$  zu wählen, sogar oft  $u : c_1 < 0,35$ , so daß  $\eta_i$  für Überdruckturbinen kleiner ausfällt als für Gleichdruckturbinen.

c) Der mechanische Wirkungsgrad  $\eta_m$  kann in zwei Teile zerlegt werden, den inneren  $\eta_{mi}$ , der durch Radreibungs- und Ventilationsverluste, und den

äußeren  $\eta_{ma}$ , der durch Lagerreibung, Ölpumpen-Regulatorreibung bedingt ist. Da die Leerlaufarbeit (Radreibungsarbeit) einer Turbine mit wachsender Belastung stark abnimmt, so wird der durch Antrieb von außen bestimmte Wert von  $\eta_m = \eta_{mi} + \eta_{ma}$  zu groß, und man kann, strenggenommen, von dem mechanischen Wirkungsgrad einer Turbine als bestimmtem Wert nicht sprechen. Die Reibungsarbeit läßt sich durch Auslaufversuche ermitteln, indem man bei konstantem Vakuum plötzlich die

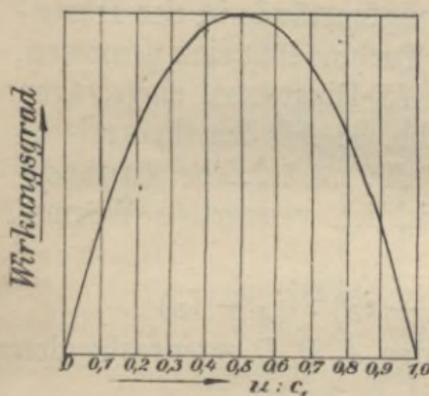


Abb. 35. Verlauf von  $\eta_i$ .  
Gleichdruck.

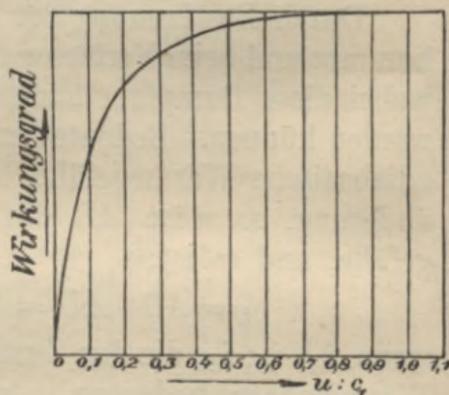


Abb. 36.  
Überdruck.

Dampfung abstellt, so daß eine Verzögerung der rotierenden Teile eintritt. Die Messung der Umdrehungen durch Hubzähler in bestimmten Zeiträumen läßt einen Schluß auf die die Verzögerung hervorrufende Reibung zu.

Bezeichnet  $N_e$  PS die effektive Leistung, so wird:

$$\eta_m = N_e : (N_e + N_r); N_r \text{ vgl. S. 91.} \quad (69)$$

d) Strömen durch eine Dampfturbine sekundlich  $G$  kg Dampf, so beträgt die effektive Leistung  $L_e$  mkg oder  $N_e$  PS

$$N_e = \frac{G \cdot L_e}{75} = \eta_e \frac{G (i_0 - i_c) \cdot 427}{75} = 5,7 \eta_e G (i_0 - i_c) \quad (70)$$

oder

$$L_e = 4,2 \eta_e G (i_0 - i_c) \text{ KW}, \quad (71)$$

folglich:

$$\eta_e = \frac{0,175 N_e}{G (i_0 - i_c)} = \eta_i \cdot \eta_m. \quad (72)$$

Der effektive Wirkungsgrad  $\eta_e$  ist unabhängig von der Überhitzung und nimmt mit der Belastung ab. Bei Verwendung von überhitztem Dampf ist die Abnahme größer, als für gesättigten Dampf, da die Strahlungsverluste im ersteren Fall größer sind.

Die Untersuchung des Gütegrades der Wärmeausnutzung von Dampfturbinen gibt eine gute Übersicht über die Arbeitsweise einer Turbine. Man hat zwei Gütegrade zu unterscheiden, denjenigen bezogen auf die gesamte Dampfmenge und den in bezug auf den Arbeit leistenden Dampf. Ersterer nimmt mit der Belastung ab und zwar ist die Abnahme bei Betrieb mit überhitztem Dampf größer als bei Betrieb mit Satttdampf, weil die Strahlungsverluste größer ausfallen.

e) Der Wirkungsgrad  $\eta_s$ , der durch den Spaltverlust bedingt wird, läßt sich demnach schreiben:

$$\eta_s = \frac{\eta_e}{\eta_i \eta_{mi} \eta_{ma}} \quad (73)$$

f) Entsprechend dem Begriff des wirtschaftlichen Wirkungsgrades bei Verbrennungsmotoren würde, wenn das konstante, gleichbleibende größte Wärmegefäll zwischen Absperrventil und Kondensator  $i - i_c$  WE beträgt, sich ergeben:

$$\eta_w = \frac{N_e}{5,7 G (i - i_c)}, \quad (74)$$

so daß, wenn  $i_0 = i$  ist, auch  $\eta_w = \eta_e$ .

g) In Zahlentafel Nr. 8 ist der thermodynamische Wirkungsgrad  $\eta_e$  verschiedener Turbinensysteme bei verschiedenen Belastungen im Vergleich zu dem gleich 100 gesetzten bei Vollbelastung zusammengestellt.

Zahlentafel Nr. 8.

	Vollleistung in KW	Thermodynam. Wirkungsgrad $\eta_e$ bei einer Belastung von			
		100 %	75 %	50 %	25 %
1. Zölly .....	300	100	80,3	58,8	36,3
2. Rateau .....	1000	„	78,0	55,6	33,7
3. „ .....	500	„	77,2	55,0	32,0
4. Parsons-Westinghouse ..	1250	„	78,5	57,3	36
5. „ .....	400	„	78,5	57	—
5. Parsons .....	1500	„	78,0	56	33,4
7. „ .....	500	„	78,0	56	33,7
8. Brown-Boveri-Parsons .	3000	„	77,6	56	33,3
9. Curtis .....	2000	„	77,2	54,2	31,4
10. „ .....	600	„	76,5	52,4	28,8
11. „ .....	500	„	76,2	51,7	28,1
12. Laval .....	200	„	76,2	52,3	29
13. „ .....	20	„	82	68	52

Die Wirkungsgrade von Turbinen verschiedener Leistung betragen bei einem Kondensatordruck  $p_c = 0,1$  kg/qcm und einer Überhitzung des Abdampfes von  $5^0$  C etwa:

Leistung in PS	10		30		50—100		200—1000		3000—5000	
Dampf gesättigt, Druck, abs. ....	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12
Wirkungsgrad % ...	29	28,5	35	32,5	48	46	59,5	57	68,5	66,5kg/qcm

h) Vergleich der Turbinensysteme in bezug auf ihren Wirkungsgrad.

Da der Durchmesser vom indizierten Wirkungsgrad  $\eta_i$  nicht abhängt, so lassen sich bei richtig gewähltem  $u : c_1$  für jeden Durchmesser Turbinen von gleichem  $\eta_i$  herstellen, jedoch hängt der mechanische Wirkungsgrad

von der Leistung und dem Durchmesser ab. Zu große Durchmesser erfordern aber besonderes Material und stellen sich daher teuer.

α) Gleichdruckturbinen.

1) Gleichdruckturbinen ohne Ausnutzung der Austrittsgeschwindigkeit  $c_2$  erfordern für kleine Durchmesser große Stufenzahlen und umgekehrt, so daß für die Herstellung wesentlich die praktischen Baukosten ausschlaggebend sind, weniger der bei allen Größen ziemlich gleiche effektive Wirkungsgrad. Wenig Stufen erfordern große Durchmesser, große Beanspruchungen und teureres Material, kleine Räder viele Stufen.

2) Gleichdruckturbinen mit einmaliger Geschwindigkeitsabstufung haben einen geringeren effektiven Wirkungsgrad. Jede Stufenvermehrung erfordert eine weitere Zwischenwand und ein weiteres Laufrad, eine weitere Gruppe von Umkehrschaukeln und verdoppelte Laufradschauflung, weshalb die Entscheidung der Frage ob Stufenvermehrung oder Vergrößerung des Laufraddurchmessers zu wählen ist, besondere Bedeutung hat.

Wenn auch der Dampfverbrauch gegenüber reinen Gleichdruckturbinen höher ist, so ist doch die Herstellung billiger, wenigstens, wenn nur eine Geschwindigkeitsabstufung angenommen wird. Der mechanische Wirkungsgrad ist auf der Hochdruckseite besser. Die geringen Stufenzahlen erfordern kürzere und dünnere Wellen, die Gehäuse fallen im allgemeinen leichter aus. Außerdem können wegen der geringeren Dampfdrücke im Gehäuse die Wandstärken und Gewichte kleiner werden, besonders ist die Abdichtung der Welle auf der Hochdruckseite wegen des niedrigeren Druck und der geringeren Temperatur einfacher. Die Geschwindig-

keitsabstufung eignet sich daher besonders für die Hochdruckseite.

3) Gleichdruckturbinen mit Ausnutzung der Geschwindigkeit  $c_2$  arbeiten gegenüber solchen ohne Ausnutzung mit höheren Dampfgeschwindigkeiten, haben geringere Schaufelabmessungen, die Schaufelprofile für Leit- und Laufräder fallen fast gleich aus und stellen sich daher im allgemeinen billiger und ihr effektiver Wirkungsgrad  $\eta_e$  ist bei gleichem  $u : c_1$  durchschnittlich besser.

$\beta$ ) Überdruckturbinen erfordern, um die Spaltverluste zu vermeiden, kleine Durchmesser, besonders auf der Hochdruckseite, wodurch der praktischen Ausführung durch die kleinen erforderlichen Spalten und die Ausdehnungsverschiedenheit der Materialien eine Grenze gesteckt ist. Außerdem erfordert die erforderliche totale Beaufschlagung auf der Hochdruckseite bei dem kleinen Volumen des eintretenden Dampfes kleine Durchmesser. Damit sind große Stufenzahlen nötig, Zwischenwände fallen fort, die Verschauflung auf einer Trommel stellt sich verhältnismäßig billig. Auf der Niederdruckseite müssen die Schaufeln, soweit es ausführbar ist, so lang wie möglich gemacht werden. Auf der Niederdruckseite, wo die Spaltverluste wenig in Betracht kommen, stellt sich auch die Herstellung der Überdruckturbinen am billigsten.

### 3. Der Dampfverbrauch von Turbinen.

a) Als Erfahrungssätze können gelten, daß die in der Zeiteinheit durch eine Turbine strömende Dampfmenge für irgendeine Belastung der Turbine proportional dem Druck vor dem ersten Leitrad ist und daß das in der Zeiteinheit aus dem Raum vor dem ersten Leitrad abströmende Dampfvolumen konstant ist, wenn auch der Druck am Austrittsstutzen sich ändert.

b) Zur Bestimmung des theoretischen Dampfverbrauchs  $D_0$  für 1 PS kann für gesättigten Wasserdampf nach Rateau gesetzt werden:

$$D_0 = 0,85 + \frac{6,95 - 0,92 \log p_c}{\log p_0 - \log p_c}, \quad (75)$$

nach Mollier:

$$D_0 = \frac{6,87 - 0,9 \log p_c}{\log p_0 - \log p_c}. \quad (76)$$

Für ein theoretisches Wärmegefälle  $i_0 - i_c$  WE für 1 kg Dampf ist für 1 PS der theoretische Dampfverbrauch stündlich bestimmt durch:

$$(i_0 - i_c) D_0 = 3600 \cdot 75 : 427,$$

also:

$$D_0 = 632 : (i_0 - i_c). \quad (76a)$$

c) Für eine indizierte PS, die der Leistung von  $L_i$  mkg entspricht, ist der indizierte Dampfverbrauch:

$$D_i = 632 \cdot 427 : L_i \text{ kg/stdl.}$$

oder:

$$D_i = 632 \cdot 427 : (L_e + \text{Verlustrarbeit.}) \quad (77)$$

d) Der der effektiven Leistung  $N_e$  PS entsprechende wirkliche Dampfverbrauch ist also:

$$D_e = \frac{632}{\eta_e (i_0 - i_c)} \text{ kg für 1 PS}_e/\text{stdl.} \quad (78)$$

Mithin ist der das sekundlich erforderliche Dampfgewicht:

$$G = N_e \cdot D_e : 3600 \text{ kg.} \quad (79)$$

e) Die Zunahme des Dampfverbrauchs bei Leerlauf rührt hauptsächlich von der Reibung und von der Zunahme der Drosselverluste im Regulierventil her. Sie kann bis zu 15% des Verbrauches bei Vollbelastung betragen und

weicht ziemlich stark von einer Geraden  $od$ , Abb. 37, ab, die dem Dampfverbrauch bei steigender Belastung entspricht.

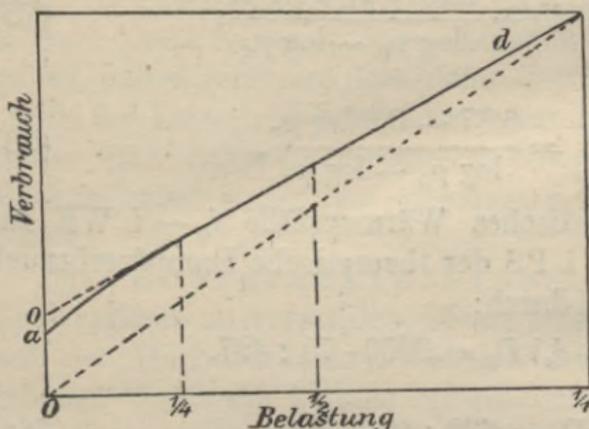


Abb. 37. Änderung des Dampfverbrauchs.

wobei  $m = 8$  bis  $10$  zu setzen ist, so ist der vom Dampf beaufschlagte Bogen  $b$  des Leitradumfangs bei einer Kanalhöhe  $h$ :

$$\widehat{b} = \left( \frac{m+1}{m} \right) G_s \cdot \frac{V}{c_1' h}, \quad (80)$$

wenn  $c_1'$  die in die Strömungsrichtung fallende Komponente der Eintrittsgeschwindigkeit bedeutet.

Der nicht beaufschlagte Bogen des Laufrades vom Durchmesser  $D$  also:

$$1 - (\widehat{b} : \pi D) \text{ fache Teil des Umfangs.}$$

g) Ermittlung des Dampfverbrauchs für verschiedene Turbinensysteme:

Gleichdruckturbinen mit

$\alpha$ ) einer Druckstufe ohne Geschwindigkeitsabstufung (Turbine von de Laval);

f) Bezeichnet  $f_a$  den Leitradquerschnitt und strömen sekundlich  $G_s$  kg Dampf hindurch von dem spezifischen Volumen  $V$  cbm/kg und beträgt die Summe der Querschnitte der Materialstärken der Leiträder  $f_a : m$ ,

Der Dampfverbrauch ist nach den Glg. (77, 78, 79) zu ermitteln, wobei als Verlustarbeit in Glg. (77) der Zahnräderreibungsverlust, der Lagerreibungsverlust und der Radreibungsverlust  $N_r$  zu rechnen ist.

β)  $z$  Druckstufen von je  $y$  Geschwindigkeitsstufen (Curtis).

Bei einem stündlichen Durchfluß von  $D$  kg Dampf, erhält man, da  $z - 1$  mal ein Nebenverlust beim Durchtritt der Welle durch die Zwischenböden auftritt, wenn die indizierte Leistung der einzelnen Stufen  $L_{i1}, L_{i2} \dots L_{iz}$  mkg und die den einzelnen Druckstufen entsprechenden Nebenverluste  $G_{n2}$  bis  $G_{nz}$  kg betragen:

$$D = \frac{632 N_i + \frac{1}{4 \cdot 2^7} (G_{n2} + \dots + G_{nz})}{\frac{1}{4 \cdot 2^7} (L_{i1} + \dots + L_{iz})} \text{ kg.} \quad (81)$$

Für mehrstufige Gleichdruckturbinen gilt dieselbe Gleichung, für Überdruckturbinen gelten die Gleichungen (77—79), für kombinierte Turbinen, die in den ersten  $y$  Stufen mit Geschwindigkeitsabstufung arbeiten, in den folgenden  $z$  Stufen nur Gleichdruckräder besitzen, ist für  $D$  die Summe des Dampfverbrauchs aus Glg. 81 und 77 zu bilden, und wenn die Gleichdruckstufen durch Überdruckstufen ersetzt sind, die Summe von  $D$  in Glg. 77 und 50 bzw. 55.

h) Die praktische Messung des Dampfverbrauchs erfolgt entweder durch Messung des verbrauchten Kesselwassers oder bei Oberflächenkondensation durch Messung des Kondensats. Der im letzteren Fall durch Trockenluftpumpen abgesaugte Teil des Gemisches ist klein und kann durch Kondensation des komprimierten Gemisches gemessen werden, beträgt aber kaum 1% der Gesamtmenge.

Zahlentafel 9.  
Dampfverbrauch verschiedener Turbinensysteme.

	Zoelly-Turbine KW	MAN-Turbine KW	Zoelly-Turbine KW	Oerlikon-Turbine KW	AEG-Turbine KW	Zoelly-Turbine KW	Brown-Boveri-Turbine KW
Elektrische Leistung	720	1250	2052	3165,6	4232	5417,9	6257
Minutl. Umlaufzahl	3000	3000	3000	1506	1495	1500	1210
Abs. Dampfdruck vor der Turbine kg/qcm	13,8	12,8	13,6	15	13,2	12,7	14,3
Dampftemperatur vor der Turbine °C	305,7	305	307	350,3	341	309	293
Überhitzung	111	115	113	153,5	149	119	98
Absoluter Dampfdruck im Abdampfbutzen	—	0,038	—	—	—	—	0,031
Vakuum	95,8	—	94,9	97,5	97,6	96,2	—
Stdl. Dampfverbrauch für 1 PS <sub>e</sub>	4,63	4,13	4,11	3,61	3,77	3,81	3,81
Effektiver Gütegrad	60,4	67,7	73,0	68,9	68,4	75,3*)	71,4
Thermischer Wirkungsgrad bei 15°	—	—	—	—	—	—	—
Speisewassertemperatur	19,05	21,35	21,45	23,65	22,8	—	23,35
Stdl. Dampfverbrauch für 1 KW	6,84	5,94	5,92	5,28	5,5	5,42	5,43

\* Dampfzustand hinter Drosselventil.

Die Hilfsdampfmen­gen, die für Servomotoren mit Dampfsteuerung (Bd. 3) und zum Abdichten der Labyrinthstopfbüchsen (Bd. 2) dienen, ebenso die Dampfmen­gen zur Abdichtung von Turbinen mit Ölsteuerung erscheinen mit im Kondensat.

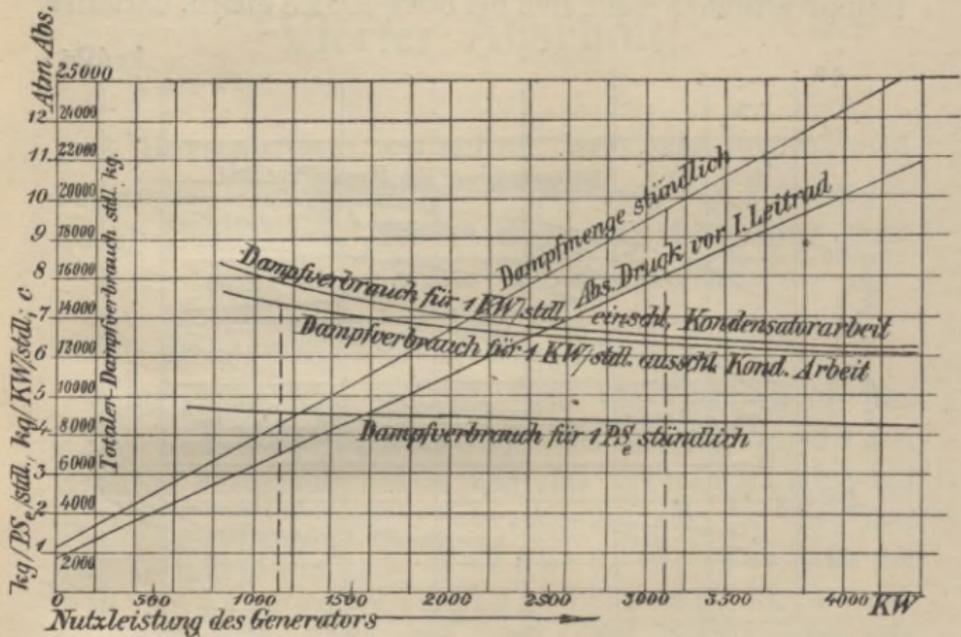


Abb. 38. Dampfverbrauch.

Abb. 38 zeigt die Größe und Änderung des Dampfverbrauchs für verschiedene Belastungen. Die Darstellung zeigt, daß im allgemeinen der Dampfverbrauch für kleine Nutzleistungen ein verhältnismäßig größerer ist, als für größere und daß mit Verringerung der Nutzleistung der Dampfverbrauch bei kleinen Belastungen schneller zunimmt als bei größeren. Wesentliche Unterschiede im Dampfverbrauch sind für die einzelnen Turbinenbauarten für gleiche Nutzleistungen nicht vorhanden.

i) Vergleich der Wärmeausnutzung von Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen.

Die graphische Zusammenstellung nach Josse, Abb. 39, gibt eine deutliche Übersicht der Wärmeausnutzung bei Leistungen bis 1000 PS<sub>e</sub>. Der stündliche Dampfverbrauch stellt sich bei etwa 700 PS<sub>e</sub> gleich, darunter

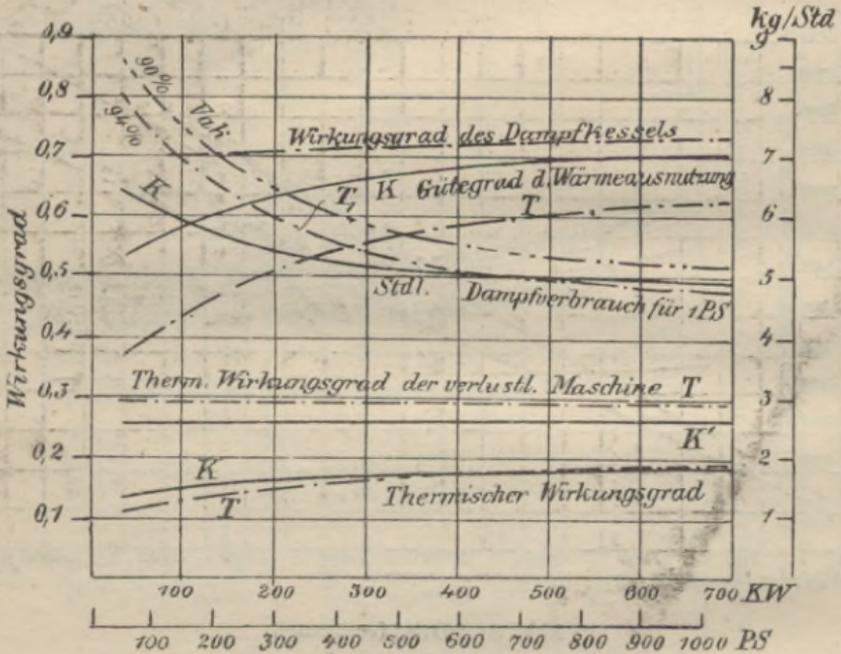


Abb. 39. Wärmeausnutzung von Kolbenmaschinen und Turbinen.

ist die Kolbedampfmaschine im allgemeinen günstiger, bei höheren Leistungen die Dampfturbine, gleichzeitig ist auch der verbessernde Einfluß höheren Vakuums bei letzterer ersichtlich.

Diese Leistung von  $\approx$  700 PS<sub>e</sub> bildet auch die Grenze von der an sich der thermische Wirkungsgrad der Turbine überlegen zeigt, was auch für den thermischen Wirkungsgrad der ganzen Anlage gilt.

Eine Überlastung ist bei Dampfturbinen nur unter Verminderung der Wärmeausnutzung möglich, während sich die Kolbenmaschine weit günstiger gestaltet.

## Vierter Abschnitt.

Die Beziehungen zwischen den absoluten und relativen Dampfgeschwindigkeiten, der Umfangsgeschwindigkeit, der indizierten Leistung und dem indizierten Wirkungsgrad.

### 1. Allgemeine Gesichtspunkte.

Im allgemeinen berechnet man die Turbinen für den größten erreichbaren Wirkungsgrad bei normaler Belastung, indem man eine Stufenzahl bei gegebenen Dampfverhältnissen vor und hinter der Maschine, oder den mittleren Raddurchmesser oder die Umfangsgeschwindigkeit  $u$  wählt. Daraus folgen dann die Expansionskurve des Dampfes, die Wirkungsgrade der einzelnen Stufen und der Gesamtwirkungsgrad der Maschine. Durch die Stufenzahl läßt sich das Wärmegefälle einer Stufe im Mittel festlegen und ist die Umfangsgeschwindigkeit bekannt, so läßt sich auch das Verhältnis von Umfangs- zur Dampfgeschwindigkeit ermitteln. Von diesem hängt hauptsächlich der Wirkungsgrad der Energieumsetzung ab.

Soll die Normalleistung  $N_i$  PS ohne besonderes Überlastungsventil überschritten werden, so ist der Berechnung die größte Dampfmenge zugrunde zu legen, wobei dann bei der Normalleistung eine Drosselung des Dampfes vor dem

ersten Leitapparat stattfindet. Trotz des Verlustes an Wärmegefälle durch die Drosselung findet eine Verbesserung des Wirkungsgrades statt.

Dabei muß stets eine einfache konstruktive Lösung und die Möglichkeit billiger Herstellung im Auge behalten werden.

## 2. Gleichdruckturbinen:

a) ohne Ausnutzung der Austrittsgeschwindigkeit.

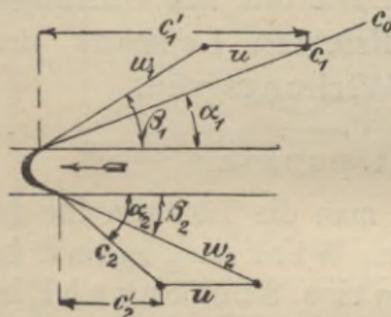


Abb. 40. Gleichdruckturbinen.

Bei ihnen erfolgt die Umsetzung von Druck in Geschwindigkeit nur im Leitapparat (Düsen), wobei der Druck im Laufrad sich nicht ändert.

Bezeichnet, Abb. 40,  $c_0$  die absolute theoretische, unter dem Winkel  $\alpha_1$  auf das Laufrad treffende Eintrittsgeschwindigkeit, so beträgt die

wirkliche Eintrittsgeschwindigkeit, vgl. S. 49,

$$c_1 = \varphi_1 c_0$$

und bei der Umfangsgeschwindigkeit  $u$  des Rades ergibt sich als relative Eintrittsgeschwindigkeit  $w_1$ , unter dem Winkel  $\beta_1$  die Resultierende aus  $c_1$  und  $-u$ . Beim Austritt ist  $w_1$  in die relative Austrittsgeschwindigkeit  $w_2$  unter dem Winkel  $\beta_2$  übergegangen, wobei  $w_2 = \varphi_2 w_1$ , wenn  $\varphi_2$  den Widerstandskoeffizienten im Laufrad darstellt. Die Resultierende aus  $w_2$  und  $u$  stellt dann die absolute Austrittsgeschwindigkeit  $c_2$  unter dem Winkel  $\alpha_2$  dar.

Bezeichnet man die in die Drehrichtung fallenden Komponenten von  $c_1$ ,  $w_1$ ,  $c_2$ ,  $w_2$  mit dem Index', so beträgt das

im Laufrad umgesetzte Wärmegefälle:

$$i_0 - i_2 = \frac{1}{2g \cdot 427} (c_0^2 - c_2^2). \quad (82)$$

Nach dem Satz vom Antrieb ist die indizierte Leistung:

$$L_i = \frac{u}{g} (c_1' + c_2') \text{ mkg} \quad (83)$$

und da, wenn wie meistens  $\beta_1 = \beta_2$ ,  $c_1' = c_1 \cos \alpha_1$ ,  $c_1' = w_2 \cos \beta_2 - u$ ,  $w_2 = \varphi_2 w_1 = \varphi_2 (c_1 \cos \alpha_1 - u)$ , so folgt die für eine Stufe aufgewendete Arbeit:

$$L_0 = c_0^2 : 2g = \frac{c_1^2}{\varphi_1^2} : 2g. \quad (84)$$

Folglich der indizierte Wirkungsgrad:

$$L_i : L_0 = \eta_i = \frac{2u (c_1' + c_2')}{c_0^2} = \frac{2 \cdot \varphi_1^2 u (c_1' + c_2')}{c_1^2}$$

oder unter Einsetzung obiger Werte, unter der Annahme  $\beta_1 = \beta_2$ :

$$\eta_i = 2 \varphi_1^2 (1 + \varphi_2) \left( \cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \frac{u}{c_1} \quad (85)$$

$\eta_i$  erreicht mit  $u : c_1 = \cos \frac{\alpha_1}{2}$  einen Größtwert:

$$\eta_{i \max} = \frac{\varphi_1^2}{2} (1 + \varphi_2) \cos^2 \alpha_1. \quad (86)$$

Eine Gleichdruckturbine arbeitet theoretisch mit dem höchsten Wirkungsgrad, wenn die Dampfgeschwindigkeit  $c_1$  in den einzelnen Druckstufen ungefähr doppelt so groß ist, wie die Umfangsgeschwindigkeit  $u$ . Die Änderung des Wirkungsgrades wird nach Abb. 35 durch eine Parabel dargestellt.

Für den Austrittsverlust kann man schreiben:

$$(23) \quad \frac{c_2^2}{2 \cdot 427 g} = \frac{u^2}{2 \cdot 427 g} \left[ \left( \frac{c_1}{u} \right)^2 \varphi_2^2 - 2 \varphi_2 \frac{c_1}{u} \cos \alpha_1 (1 + \varphi_2) + (1 + \varphi_2)^2 \right]. \quad (87)$$

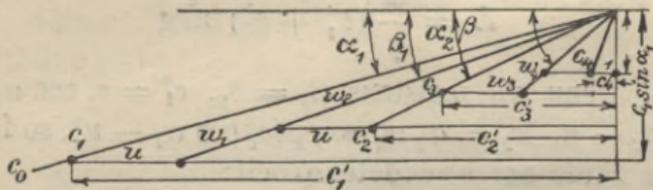


Abb. 41. Gleichdruckturbinen mit Geschwindigkeitsabstufung.

Für Gleichdruckturbinen mit einer Geschwindigkeitsabstufung gilt, Abb. 41:

$$L_i = \frac{u}{g} (c'_1 + c'_2 + c'_3 + c'_4)$$

ferner war:  $L_0 = \frac{c_1^2}{2g} : 2g$ , also:

$$\eta_i = \frac{L_i}{L_0} = 2 \varphi_1^2 u (c'_1 + c'_2 + c'_3 + c'_4). \quad (88)$$

Mit Vermehrung der Geschwindigkeitsstufen sinkt der Wirkungsgrad.

b) Für Gleichdruckturbinen mit Ausnutzung der Austrittsgeschwindigkeit  $c_2$  im folgenden Leitapparat, Abb. 42 ergibt sich:

$$L_i = \frac{u}{g} (c'_1 + c'_2) = \frac{u}{g} \left( 1 + \varphi_1 \frac{\cos \beta_1}{\cos \beta_2} \right) (c_1 \cos \alpha_1 - u), \quad (89)$$

$$\eta_i = \frac{L_i}{L_0} = \frac{u (c'_1 + c'_2) \cdot \varphi_1^2}{c_1^2 - \varphi_1 c_2^2}. \quad (90)$$

Die erste Druckstufe ist wie bei reinen Gleichdruckturbinen ohne Ausnutzung von  $c_2$  zu berechnen und ihr ein etwas größeres Wärmegefälle zu geben.

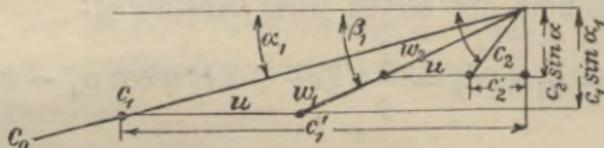


Abb. 42. Gleichdruckturbine.

### 3. Überdruckturbinen.

a) Unter der Voraussetzung eines Reaktionsgrades gleich 0,5 und daß die absolute Austrittsgeschwindigkeit aus dem Laufrad gleich der relativen Eintrittsgeschwindigkeit ins Leitrad, sowie daß die absolute Austrittsgeschwindigkeit

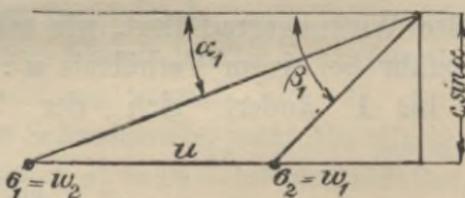


Abb. 43. Überdruckturbine.

aus dem Leitrad gleich der relativen Eintrittsgeschwindigkeit ins Laufrad ist, werden die Geschwindigkeitsdreiecke gleich, Abb. 43. Bedeutet ferner  $\xi$  den Reibungskoeffizient für Leit- und Laufrad, so ist nach Banki die aufgewendete Arbeit zur Erzeugung von  $c_1$ :

$$L_1 = \frac{(1 + \xi) c_1^2 - c_2^2}{2g}, \quad (91)$$

die aufgewendete Arbeit zur Beschleunigung von  $w_1$  auf  $w_2$ :

$$L_2 = \frac{(1 + \xi) w_2^2 - w_1^2}{2g}, \quad (92)$$

folglich die aufzuwendende Arbeit für irgend eine Stufe mit Ausnahme der ersten jeder Abstufung:

$$L_0 = L_1 + L_2 = \frac{1}{g} (\xi c_1^2 + 2 c_1 u \cos \alpha_1 - u^2) \quad (93)$$

und

$$L_i = \frac{u}{g} (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) = \frac{u}{g} (2c_1 \cos \alpha_1 - u), \quad (94)$$

folglich:

$$\eta_i = L_i : L_p = \frac{2 \left( \frac{u}{c_1} \right) \cos \alpha_1 - \left( \frac{u}{c_1} \right)^2}{\xi + 2 \left( \frac{u}{c_1} \right) \cos \alpha_1 - \left( \frac{u}{c_1} \right)^2}. \quad (95)$$

Der größte Wirkungsgrad liegt, wie schon auf S. 97 erwähnt, ungefähr bei einem Verhältnis  $u : c_1 = 1$ . Für  $u : c_1 = 0,6$  bis 1 ändert sich der Wirkungsgrad

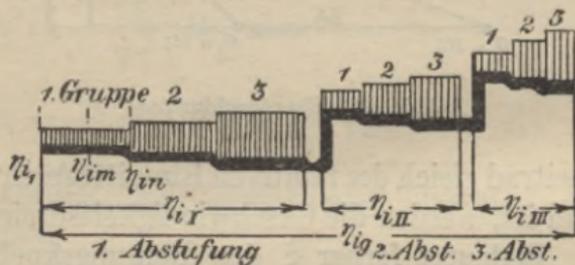


Abb. 44. Ermittlung von  $\eta_i$ .

nur wenig, daher werden die Überdruckstufen für ein wesentlich kleineres  $u : c_1$  berechnet, als 1.  $\eta_i$  hängt demnach nach Glg. 95 bei konstantem Winkel  $\alpha_1$  nur von  $u : c_1$  ab. Soll in allen Stufen ein gleicher Wirkungsgrad  $\eta_i$  vorhanden sein, so sind stets  $u$  und  $c_1$  so zu wählen, daß

$u : c_1$  konstant bleibt. Der Wirkungsgrad  $\eta_i$  für die erste Stufe jeder Durchmesserabstufung ist etwas kleiner, als aus Glg. (95) folgt.

b) Bei Ausführungen finden sich Werte von  $u : c_1 = 0,25$  bis  $0,85$ . Für ortsfeste Turbinen liegt  $u : c_1$  meist in der Nähe von  $\approx 0,6$ . Für Schiffsturbinen kann man im Durchschnitt annehmen:

	Sehr schnelle Personendampfer	Mittelschnelle Personendampfer	Schlachtschiffe und große Kreuzer	Kleine Kreuzer	Torpedoboote
$u : c_1$	0,45—0,5	0,45—0,5	0,48—0,52	0,47—0,5	0,47—0,51
$u$ { Hochdruckteil m ...	21—24	24—37	26—30	32—37	34—40
Niederdruckteil m	34—40	34—41	35—41	40—49	49—64

c) Um den Wirkungsgrad der einzelnen Gruppen der Abstufungen zu ermitteln, muß die Zunahme des Winkels  $\alpha_1$  von der ersten bis zur letzten Schaufelreihe in jeder Abstufung angenommen werden, Abb. 44.

Der ersten Schaufelreihe jeder Abstufung gibt man entweder denselben  $\sphericalangle \alpha_1 = 18 - 20^\circ$  und läßt ihn gruppenweise bis zur letzten Schaufelreihe in der ersten Abstufung, im ganzen um  $\approx 6^\circ - 8^\circ$ , in der zweiten Abstufung um  $8^\circ - 10^\circ$ , in der letzten Abstufung um  $16^\circ - 18^\circ$  wachsen, oder man erhöht schon  $\sphericalangle \alpha_1$  der ersten Schaufelreihe jeder Abstufung gegen die erste Schaufelreihe der vorhergehenden Abstufung um  $2^\circ - 3^\circ$ , die der letzten um  $6^\circ - 8^\circ$  und läßt die Winkel in jeder Abstufung ebenfalls zunehmen.

Berechnet man also  $\eta_{i1}$  für die erste Schaufelreihe der ersten Gruppe der ersten Abstufung mit  $u : c_1$  und  $\sphericalangle \alpha_1$  nach Glg. (95) und ebenso für die letzte Schaufelreihe der ersten Gruppe der ersten Abstufung  $\eta_{in}$  mit  $(u : c_1)_n$  und  $\sphericalangle \alpha_{1n}$ , wobei:

$$(u : c_1)_n = (u : c_1) \frac{\cos \alpha_{1n}}{\cos \alpha_1},$$

so folgt als Mittelwert des Wirkungsgrades einer Stufe von gleicher Schauffellänge der ersten Gruppe:

$$\eta_{im} = \simeq 0,5 (\eta_{i1} + \eta_{in}).$$

Dieser Wert kann auch als Wirkungsgrad der ganzen ersten Durchmesserabstufung für die durchströmende Dampfmenge angenommen werden.

Entsprechend ist für die Bestimmung von  $\eta_i$  für die übrigen Durchmesserabstufungen zu verfahren.

d) Für die ganze Turbine ergibt sich als gesamter indizierter Wirkungsgrad  $\eta_{ig}$  wenn  $G$  kg sek. Dampf der Turbine zuströmen und durch Spaltverluste in den Abstufungen  $m_1\%$ ,  $m_2\%$ ,  $m_3\%$ , durch Labyrinthverluste  $q_1\%$ ,  $q_2\%$ ,  $q_3\%$  von  $G$  verloren gehen:

$$\eta_{ig} = \frac{G [(m_1 + q_1) i_I \eta_{iI} + (m_2 + q_2) i_{II} \eta_{iII} + (m_3 + q_3) i_{III} \eta_{iIII}]}{G \cdot i_g} \quad (96)$$

wenn die Indizes I, II, III sich auf die Durchmesserabstufungen beziehen.

4. In Abb. 45 ist die Abhängigkeit des Wertes  $\eta_i$  von dem Verhältnis  $u : c_1$  dargestellt.

Die Kurven 1 und 2 zeigen den parabolischen Verlauf der Werte von  $\eta_i$  mit sich ändernden  $u : c_1$  für Gleichdruckturbinen, und zwar 1 unter der Annahme, daß die Austrittsgeschwindigkeit  $c_2$  vernichtet, 2, daß sie zu  $\simeq 66\%$  ausgenutzt wird.

Kurve 3 gilt für eine Gleichdruckturbine mit zwei Geschwindigkeitsstufen, Kurve 4 für eine Überdruckturbine.

## 5. Radialturbinen.

a) Bei Radialturbinen hat, abweichend von den Axialturbinen, die Fliehkraft, welche auf die die Schaufeln durchströmenden Dampfteilchen zur Wirkung kommt, einen bedeutenden Einfluß.

Der Vorteil radialer Beaufschlagung liegt hauptsächlich in der Möglichkeit, größere Schaufelwinkel anwenden zu können, ohne daß die Ausnutzung der Dampfgeschwindigkeit erheblich verschlechtert wird.

Als günstigstes Verhältnis kann etwa  $u : c_1 = 1/3$  gesetzt werden.

Eine Ausnutzung der Austrittsgeschwindigkeit aus dem einem Leitapparat vorhergehenden Laufrad kann wegen der dabei stetig größer werdenden Beaufschlagungslänge kaum vorausgesetzt werden.

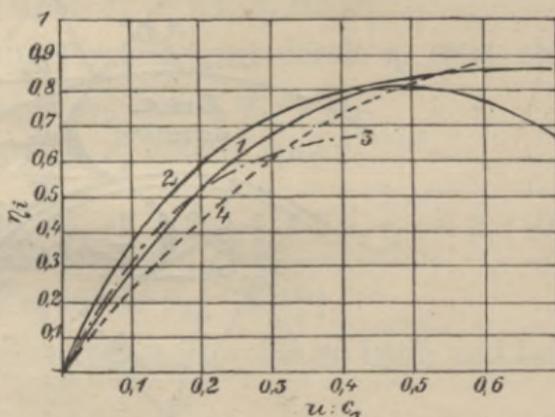


Abb. 45. Beziehung von  $\eta_i$  und  $u : c_1$ .

Eine ausgedehntere Anwendung für größere Leistungen haben Radialturbinen bisher nicht gefunden. Für kleinere Leistungen sind in den letzten Jahren, neben der „Elektra“-Turbine eine Anzahl von Konstruktionen ausgearbeitet, von denen die von Eyermann, Zwonicek, Ljungström und anderen zu nennen sind.

Die Ausnutzung des Dampfes kann durch Gleichdruck- und Überdruckwirkung erfolgen.

b) Für Gleichdruckwirkung sei für eine aus Leit- und Laufrad bestehende Stufe  $c_1$  m die absolute



$$i_1 - i_2 = \frac{1}{2 \cdot g \cdot 427} ((1 + \xi_3) w_2^2 - w_1^2 - (u_2^2 - u_1^2)) \quad (99)$$

Folglich ist die Größe des ungesetzten Wärmegefälles in Leit- und Laufrad einer Stufe:

$$i_0 - i_2 = \frac{1}{2g \cdot 427} [(1 + \xi_2) c_1^2 + (1 + \xi_3) w_2^2 + u_1^2 - c_0^2 - w_1^2 - u_2^2] \quad (100)$$

Führt man die Beziehung:

$$w_1^2 = u_1^2 + c_1^2 - 2 u_1 c_1 \cos \alpha_1$$

ein und ersetzt  $c_0$  zur Vereinfachung durch  $c_2$ , setzt also:

$$c_2^2 = u_2^2 + w_2^2 - 2 u_2 w_2 \cos \beta_2,$$

so ergibt sich, wenn  $\xi_2 = \xi_3$  gesetzt wird:

$$i_0 - i_2 = \frac{1}{2g \cdot 427} [\xi_2 c_1^2 + \xi_2 w_2^2 + 2 u_1 c_1 \cos \alpha_1 + 2 u_2 w_2 \cos \beta_2 - 2 u_2^2] \quad (101)$$

Bei Benutzung desselben Schaufelprofils im Lauf- und Leitrad würde  $\alpha_1 = \beta_2$  sein.

Um die Durchmesser einzuführen, seien  $l_e$  und  $l_a$  die Längen einer Laufschaufel beim Eintritt und Austritt und  $\varepsilon$  der durch die Dicke der Schaufeln bedingte Verengungsfaktor des Durchflußquerschnitts, der für Ein- und Austrittsseite gleich groß vorausgesetzt sei.

Da die Durchflußquerschnitte gleich sein müssen, folgt:

$$\varepsilon D_1 \pi l_e w_1 \sin \beta_1 = \varepsilon D_2 \pi l_a w_2 \sin \beta_2, \quad (102)$$

folglich, wenn  $\alpha_1 = \beta_2$  vorausgesetzt wird:

$$l_e D_1 w_1 \sin \beta_1 = l_a D_2 w_2 \sin \beta_2 = l_e D_1 c_1 \sin \alpha_1$$

also:

$$w_1 = \frac{D_1 \sin \alpha_1}{D_2 \sin \alpha_2} \cdot \frac{l_e}{l_a}.$$

Setzt man diese Beziehung in Glg. (101) ein, so folgt für das Wärmegefälle:

$$i_0 - i_2 = \frac{1}{2g \cdot 427} \left[ \xi_2 c_1^2 \left( 1 + \left( \frac{l_e}{l_a} \right)^2 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right) - 2 u_1^2 \left( \frac{l_a}{l_e} \right)^2 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 + 4 u_1 c_1 \cos \alpha_1 \right] \quad (103)$$

Führt man die Komponenten  $c'_1$  und  $c'_2$  von  $c_1$  und  $c_2$  ein, die in die Richtung von  $u_1$  bzw.  $u_2$  fallen, so ergibt sich die indizierte Leistung in mkg/sekundlich:

$$L_i = \frac{1}{g} (u_1 c'_1 + u_2 c'_2) \quad (104)$$

und der Umfangswirkungsgrad:

$$\eta_i = \frac{L_i}{c_0^2 : 2g} = \frac{2(u_1 c'_1 + u_2 c'_2)}{c_0^2}. \quad (105)$$

Für die Berechnung derartiger Radialturbinen kann unter Einführung der Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = \pi n : 30 \text{ m}$$

den Gleichungen (103) und (104) eine etwas andere Form gegeben werden.

Unter der Voraussetzung, daß  $u : c_1$  über die ganze Turbine konstant ist, und wenn  $0,5 D_i$  den äußeren Radius des kleinsten,  $0,5 D_a$  denjenigen des äußersten Laufringes bezeichnet, ist:

$$c_{1i} : 0,5 D_i = c_{1a} : 0,5 D_a = \text{Konstante } K.$$

Wählt man  $0,5 D_i$  und  $0,5 D_a$  unter Berücksichtigung der noch als zulässig erachteten Umfangsgeschwindigkeiten  $u_i$  und  $u_a$ , so kann, wenn  $\eta_i$  den Umfangswirkungsgrad bezeichnet, die auszuführende Stufenzahl  $z$  nach Glg. (5), Bd. 2 gewählt werden. Jede Stufe besteht aus Leit- und Laufrad.

Die für alle Schaufeln gleich angenommene Breite beträgt also:

$$b = [0,5 (D_a - D_i)] : (2z - 1). \quad (106)$$

Für den Durchmesser  $D_i$  kann  $c_{1i}$  sehr angenähert aus:

$$c_{1i} = 100 \sqrt{\frac{1 - \eta_i}{\eta_i^3}} \text{ m} \quad (107)$$

vorläufig ermittelt werden, so daß  $u : c_{1i}$  festliegt (zwischen 0,33 und 0,4 zu wählen).

Werden die Verluste durch Reibung für die Energieentwicklung und die Geschwindigkeiten mit  $\varphi$  und  $\xi$  bezeichnet ( $\varphi = 0,10-0,15$ ,  $\xi = 0,48-0,52$ ) und bezeichnet  $\mu$  die durch die Summe der Einzelgefälle bedingte Vergrößerung des zur Verfügung stehenden Gesamtwärmegefälles  $i_g$ , vergl. S. 97, so bilde man:

$S_1 =$  Summe der Quadrate aller  $2z$  Radien, mit  $(0,5 D_i)^2$  beginnend,

$$= (0,5D_i)^2 + (0,5D_i + b)^2 + (0,5D_i + 2b)^2 + \dots$$

$S_2 =$  Summe der Quadrate der  $z$  an ungerader Stelle stehenden Radien, mit  $(0,5 D_i)^2$  beginnend,

$S_3 =$  Summe der Quadrate der  $z$  an gerader Stelle stehenden Radien, mit  $(0,5 D_i + b)^2$  beginnend,

$$S_4 = S_1 - (0,5 D_a)^2.$$

Unter Einsetzung dieser Werte und da  $c_1 = K_1 \cdot r$  gesetzt werden kann, läßt sich Glg. (103) umformen in:

$$2g \cdot 427 \cdot i_g \cdot \mu \cdot (1 - \varphi) = S_1 K_1^2 - \omega^2 (S_3 - S_2) - (1 - \xi) S_4 (K_1^2 + \omega^2 - \omega K_1 \cos \alpha_1) \quad (108)$$

Ermittelt man hieraus  $K_1$ , so muß sich für richtig gewählte Verhältnisse:

$$K_1 = K = c_{1i} : 0,5 D_i$$

ergeben.

Für die indizierte Arbeit  $L_i$  Glg. (104) läßt sich dann für die ganze Turbine schreiben:

$$L_i = \frac{\omega}{427 \cdot g} [K_1 \cdot S_1 \cos \alpha_1 - \omega \cdot S_2] \text{ WE. (109)}$$

Beispiel. Für eine mit Innenbeaufschlagung und Überdruckwirkung arbeitende Radialturbine sei  $p = 11$  kg/qcm absolut,  $p_e = 0,1$  kg/qcm,  $t = 300^\circ \text{C}$ ,  $n = 3000$ .

Nach dem Mollier-Diagramm ist das zur Verfügung stehende Gesamtgefälle:  $i_g = 193$  WE.

Es sei gewählt  $u_i = \simeq 40$  m,  $u_a = \simeq 125$  m, also:  $D_i = 0,25$  m,  $D_a = 0,79$  m,  $\mu = 1,05$ ,  $1 - \varphi = 0,89$ ,  $1 - \xi = 0,5$ ,  $\eta_i = \simeq 0,65$ , ferner folgt  $u_i = 39,4$  m.

Dann wird nach Glg. (16 a), Bd. II:

$$z = 3 \cdot \frac{(8350)^2 0,65^3 - (1 - 0,65) \cdot 3000^2 \cdot 0,5 (0,624 - 0,0625)}{(1 - 0,65) 3000^2 (0,624 + 0,0625 + 0,198)} = 19,$$

ferner ergibt sich:

$$\omega = 314 \text{ m, } b = 0,0072 \text{ m}$$

und vorläufig:

$$c_{1i} = 100 \sqrt{(1 - \eta_i) : \eta_i^3} = 113 \text{ m,}$$

also:

$$u : c_{1i} = 39,4 : 113 = 0,348.$$

Durch Summierung der Quadrate der Radien ergibt sich:

$$S_1 = 2,763, S_2 = 1,346, S_3 = 1,416, S_4 = 2,51.$$

Aus Glg. (108) ergibt sich dann weiter:

$$2g \cdot 427 \cdot 193 \cdot 0,89 \cdot 1,05 = 2,76 K_1^2 - 314^2 \cdot 0,07 \\ - 0,5 \cdot 2,51 (K_1^2 + 314^2 - 314 \cdot 0,94 K_1).$$

Nach  $K_1$  aufgelöst folgt:

$$K_1 = 903.$$

Mithin wird, da:

$$903 = \frac{c_{1i}}{0,5 D_i},$$

$$c_{1i} = 903 \cdot 0,125 = 113 \text{ m,}$$

wie angenommen.

Des weiteren folgt nach Glg. (109):

$$L_i = \frac{314}{427 \cdot 9,81} (903 \cdot 0,94 \cdot 2,76 - 314 \cdot 1,346) L_i = 131 \text{ WE.}$$

Folglich:

$$\eta_i = \frac{131}{193} = 0,677,$$

während  $\eta_i = \approx 0,65$  der Rechnung zugrunde gelegt wurde.

## Zahlentafeln.

### Zahlentafel 1.

Gesättigter Dampf, nach den Formeln von Callendar.

Druck kg/qcm	Temp. ° C.	Spez. Vol. cbm/kg	Spez. Gew. kg/cbm	Gesamtwärme $\lambda =$ $q + r$	Flüssigkeitswärme $q$	Verdampfungs- wärme			Entropie des Wassers $\mathcal{S}_w$	Entropie des Dampfes $\mathcal{S}_d$	Spez. Wärme für trocknen ge- sättigten Dampf $c_p$
						gesamte $r =$ $q + o$	latente $q$	äußere $o$			
$p$	$t$	$V'$	$w$								
0,02	17,3	68,126	0,01468	602,9	17,3	585,6	553,6	32	0,0616	2,0783	0,478
0,04	28,8	35,387	0,02826	608,3	28,8	579,5	546,3	33,2	0,1004	2,0202	0,479
0,06	36	24,14	0,04142	611,6	36	575,6	541,7	33,9	0,124	1,9868	0,48
0,08	41,3	18,408	0,05432	614,1	41,4	572,7	538,2	34,5	0,1411	1,9631	0,481
0,1	45,6	14,92	0,06703	616	45,7	570,3	535,4	34,9	0,1546	1,9449	0,481
0,12	49,2	12,568	0,07956	617,7	49,3	568,4	533,1	35,3	0,1659	1,93	0,482
0,15	53,7	10,19	0,09814	619,7	53,8	565,9	530,1	35,8	0,1799	1,9121	0,483

Druck kg/qcm	Temp. ° C.	Spez. Vol. cbm/kg	Spez. Gew. kg/cbm	Gesamtwärme $\lambda =$ $q + r$	Flüssigkeitswärme $q$	Verdampfungs- wärme			Entropie des Wassers $S_w$	Entropie des Dampfes $S_d$	Spez. Wärme für trocknen ge- sättigten Dampf $c_p$
						gesamte $r =$ $q + \sigma$	latente $e$	äußere $\sigma$			
$p$	$t$	$V$	$w$								
0,2	59,8	7,777	0,12858	622,4	59,9	562,5	526,1	36,4	0,1084	1,889	0,484
0,25	64,6	6,307	0,1586	624,6	64,8	559,8	522,9	36,9	0,2129	1,8711	0,486
0,3	68,7	5,316	0,1881	626,4	68,9	557,5	520,2	37,3	0,2252	1,8566	0,487
0,35	72,3	4,6	0,2174	628	72,5	555,5	517,8	37,7	0,2356	1,8444	0,488
0,4	75,5	4,06	0,2463	629,4	75,7	553	515,6	38,1	0,2448	1,8336	0,490
0,5	80,9	3,294	0,3036	631,7	81,2	550,5	512	38,5	0,2604	1,8159	0,492
0,6	85,5	2,777	0,3601	633,7	85,8	547,9	508,8	39,1	0,2734	1,8015	0,494
0,7	89,5	2,04	0,416	635,3	89,9	545,4	506,1	39,3	0,2846	1,7895	0,496
0,8	93	2,1216	0,4713	636,8	93,5	543,3	503,6	39,7	0,2944	1,7789	0,498
0,9	96,2	1,9003	0,5262	638,1	96,7	541,4	501,4	40	0,3032	1,7689	0,499
1	99,1	1,722	0,5807	639,3	99,6	539,7	499,4	40,3	0,3111	1,7615	0,501
1,1	101,8	1,5751	0,6349	640,7	102,3	538,4	497,6	40,8	0,3183	1,7541	0,503
1,2	104,2	1,4521	0,6887	641,3	104,8	536,6	495,6	41	0,325	1,7473	0,504
1,4	108,7	1,2571	0,7955	643,1	109,4	533,7	492,6	41,1	0,337	1,7352	0,507
1,6	112,7	1,1096	0,9013	644,7	113,4	531,3	489,7	41,6	0,3475	1,7248	0,510
1,8	116,3	0,9939	1,0062	646	117,1	528,9	487,1	41,8	0,3569	1,7156	0,513
2	119,6	0,9006	1,1104	647,2	120,4	526,8	484,7	42,1	0,3655	1,7077	0,516
2,5	126,7	0,731	1,368	649,9	127,7	522,2	479,4	42,8	0,3839	1,6903	0,521
3	132,8	0,6163	1,6224	652	133,9	518,1	474,9	43,2	0,3993	1,676	0,526
3,5	138,1	0,5335	1,8743	653,8	139,4	514,4	470,8	43,6	0,4125	1,664	0,531
4	142,8	0,4708	2,1239	655,4	144,2	511,2	467,2	44	0,4242	1,6537	0,536
4,5	147,1	0,4217	2,3716	656,8	148,6	508,2	463,9	44,3	0,4347	1,6445	0,541
5	151	0,382	2,6177	658,1	152,6	505,5	460,8	44,7	0,4442	1,6363	0,546
5,5	154,6	0,3494	2,8624	659,2	156,3	502,9	458	44,9	0,4529	1,629	0,550
6	157,9	0,322	3,1058	660,2	159,8	500,4	455,3	45,1	0,4609	1,6221	0,554
6,5	161,1	0,2987	3,3481	661,1	163	498,1	452,8	45,3	0,4683	1,6158	0,558
7	164	0,2786	3,5891	662	166,1	495,9	450,4	45,5	0,4753	1,6101	0,561
7,5	166,8	0,2611	3,8294	662,8	168,9	493,9	448,2	45,7	0,4819	1,6048	0,565
8	169,5	0,2458	4,0683	663,5	171,7	491,8	446	45,8	0,4881	1,5997	0,568
8,5	172	0,2322	4,3072	664,2	174,3	489,9	443,9	46	0,4939	1,5949	0,572
9	174,4	0,22	4,5448	664,9	176,8	488,1	441,9	46,2	0,4995	1,5905	0,575
9,5	176,7	0,2091	4,7819	665,5	179,2	486,3	440	46,3	0,5048	1,5863	0,578
10	178,9	0,1993	5,018	666,1	181,5	484,6	438,2	46,4	0,5099	1,5822	0,581
11	183,1	0,1822	5,489	667,1	185,8	481,3	434,6	46,7	0,5194	1,5748	0,588
12	186,9	0,1678	5,96	668,1	189,9	478,2	431,3	46,9	0,5282	1,5678	0,593
13	190,6	0,1556	6,425	668,9	193,7	475,2	428,2	47	0,5364	1,5616	0,598
14	194	0,1451	6,889	669,7	197,3	472,4	425,2	47,2	0,544	1,5557	0,603
15	197,2	0,136	7,352	670,5	200,7	469,8	422,4	47,4	0,5573	1,5504	0,608
16	200,3	0,128	7,814	671,2	203,9	467,3	419,7	47,6	0,5581	1,5452	0,614
18	206,1	0,1145	8,734	672,4	210	462,4	414,6	47,8	0,5707	1,5359	0,623
20	211,3	0,1036	9,648	673,4	215,5	457,9	409,8	48,1	0,5821	1,5274	0,632

## Zahlentafel 2.

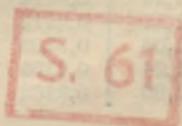
Koeffizienten für überhitzten Wasserdampf nach Callendar.

$t^{\circ}C$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$t^{\circ}C$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
0	8	0,075	0,021	230	0,97	0,0098	0,00152
5	7	0,071	0,020	235	0,94	0,0095	0,00146
10	7	0,067	0,018	240	0,91	0,0092	0,00139
15	6	0,063	0,017	245	0,88	0,0089	0,00134
20	6	0,059	0,016	250	0,85	0,0086	0,00128
25	6	0,056	0,015	255	0,82	0,0083	0,00123
30	5	0,053	0,014	260	0,79	0,0081	0,00118
35	5	0,050	0,013	265	0,77	0,0078	0,00113
40	5	0,048	0,012	270	0,75	0,0076	0,00109
45	5	0,045	0,011	275	0,72	0,0074	0,00105
50	4,3	0,043	0,0103	280	0,70	0,0071	0,00101
55	4,1	0,041	0,0097	285	0,68	0,0069	0,00097
60	3,9	0,039	0,0091	290	0,66	0,0067	0,00093
65	3,7	0,037	0,0085	295	0,64	0,0065	0,00090
70	3,5	0,035	0,0080	300	0,62	0,0063	0,00086
75	3,4	0,033	0,0075	305	0,60	0,0062	0,00083
80	3,2	0,032	0,0070	310	0,58	0,0060	0,00080
85	3,1	0,030	0,0066	315	0,57	0,0058	0,00077
90	2,9	0,029	0,0062	320	0,55	0,0057	0,00074
95	2,8	0,028	0,0059	325	0,53	0,0055	0,00072
100	2,66	0,0265	0,00554	330	0,52	0,0053	0,00069
105	2,55	0,0255	0,00524	335	0,50	0,0052	0,00067
110	2,44	0,0243	0,00494	340	0,49	0,0051	0,00064
115	2,35	0,0232	0,00468	345	0,48	0,0049	0,00062
120	2,24	0,0223	0,00442	350	0,46	0,0048	0,00060
125	2,14	0,0214	0,00418	355	0,45	0,0047	0,00058
130	2,06	0,0205	0,00397	360	0,44	0,0046	0,00056
135	1,97	0,0197	0,00376	365	0,43	0,0044	0,00054
140	1,89	0,0189	0,00357	370	0,41	0,0043	0,00052
145	1,82	0,0181	0,00339	375	0,40	0,0042	0,00051
150	1,75	0,0174	0,00321	380	0,39	0,0041	0,00049
155	1,68	0,0168	0,00306	385	0,38	0,0040	0,00047
160	1,61	0,0164	0,00291	390	0,37	0,0039	0,00046
165	1,55	0,0155	0,00277	395	0,36	0,0038	0,00044
170	1,49	0,0149	0,00263	400	0,35	0,0037	0,00043
175	1,44	0,0144	0,00251	405	0,34	0,0036	0,00042
180	1,38	0,0139	0,00239	410	0,33	0,0035	0,00040
185	1,33	0,0134	0,00228	415	0,33	0,0034	0,00039
190	1,29	0,0129	0,00217	420	0,32	0,0034	0,00038
195	1,24	0,0124	0,00208	425	0,31	0,0033	0,00037
200	1,20	0,0120	0,00198	430	0,30	0,0032	0,00036
205	1,15	0,0116	0,00189	435	0,29	0,0031	0,00035
210	1,11	0,0112	0,00181	440	0,29	0,0031	0,00034
215	1,08	0,0108	0,00173	445	0,28	0,0030	0,00033
220	1,04	0,0105	0,00166	450	0,27	0,0029	0,00032
225	1,00	0,0101	0,00159				

## Zahlentafel 3.

Spezifische Volumina in cbm/kg von überhitztem Dampf  
nach den Versuchen von Knoblauch und Jakob.

$^{\circ}C$	$p=1$	$p=2$	$p=4$	$p=6$	$p=8$	$p=10$	$p=12$	$p=14$	$p=16$	$p=18$	$p=20$
400	3,322	1,632	0,822	0,557	0,422	0,340	0,290	0,254	0,229	0,211	0,196
380	3,212	1,576	0,793	0,537	0,406	0,327	0,278	0,243	0,219	0,200	0,186
360	3,103	1,521	0,764	0,516	0,390	0,314	0,266	0,232	0,209	0,190	0,176
340	2,995	1,467	0,735	0,496	0,374	0,300	0,254	0,221	0,199	0,180	0,165
320	2,887	1,413	0,706	0,476	0,368	0,287	0,243	0,211	0,189	0,170	0,156
300	2,779	1,359	0,677	0,456	0,342	0,274	0,232	0,200	0,179	0,160	0,147
280	2,671	1,305	0,649	0,436	0,326	0,261	0,221	0,190	0,170	0,152	0,138
260	2,563	1,251	0,621	0,416	0,311	0,248	0,210	0,180	0,160	0,144	0,129
240	2,455	1,197	0,593	0,396	0,296	0,235	0,199	0,170	0,152	0,135	0,120
220	2,347	1,143	0,565	0,377	0,281	0,222	0,188	0,159	0,140	0,125	0,110
200	2,239	1,090	0,538	0,358	0,266	0,209	—	—	—	—	—
180	2,133	1,037	0,511	0,339	—	—	—	—	—	—	—
160	2,026	0,984	0,484	—	—	—	—	—	—	—	—
140	1,919	0,931	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	1,812	0,877	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	1,705	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



## Sachregister.

- Abdampfturbine 77.  
Abstufung der Geschwindigkeit 61.  
Adiabatische Expansion 8, 10.  
Aktionswirkung 59.  
Anzapfturbine 77.  
Ausflußgeschwindigkeit 35.  
Ausflußmenge 40.  
Ausstrahlungsverluste 88.  
Ausströmung aus Düsen 38, 42.  
— — Öffnungen 33.  
Austrittsverlust 93.  
Axialturbine 59.  
Beaufschlagung, partielle 64.  
—, wiederholte 63.  
Callendar, Entropie 20.  
—, Gesamtwärme 13.  
—, spez. Volumen 13.  
Curtis-Turbine 65.  
Dampf, gesättigter 8, 12.  
—, überhitzter 15.  
Dampfdiagramme 23, 30.  
Dampfgeschwindigkeitsdreiecke 110.  
Dampfmenge, spez. 22.  
Dampfturbine, Arbeitsweise 11.  
Dampfverbrauch 102 ff.  
Drosselung überh. D. 32.  
Druck, kritischer 39.  
Druckabstufung 63.  
Druckgefälle 11.  
Druck- u. Geschwindigkeitsabstufung 65.  
Druck-Volumendiagramm 23.  
Düsen, Ausströmung aus 38, 46.  
—, Berechnung 53.  
—, prakt. Ausführung 45.  
—, Querschnitte 41, 46.  
—, Verluste 48, 51, 78.  
Effektive Leistung 94.  
Einteilung der Turbinen 76.  
Eintrittsverluste 48, 51, 78.  
Elektrische Leistung 94.  
Energie, kinetische 7.  
—, potentielle 7.  
Entropie 18, 20, 26.  
Entropiediagramm 23, 51.  
Expansion, adiabatische 8, 10.  
—, polytrope 11.  
Gegendruckturbine 77.  
Gesamtwärme 13.  
—, Ermittlung 13.  
— überh. Dampfes 17.  
Gesättigter Dampf 8, 12.  
Geschwindigkeit, kritische 39.  
Geschwindigkeitsabstufung 73.  
Geschwindigkeits-Druckstufenturbine 68.  
Geschwindigkeitsgefälle 11.  
Geschwindigkeits-Überdruckstufenturbine 70.  
Geschwindigkeitsverluste 79.  
Gleichdruckturbine 63.  
Gleichdruckwirkung 59, 71.  
Graph. Darstellung der Düsenverluste 51.  
Gütegrad 100.  
Indizierter Dampfverbrauch 103.  
— Wirkungsgrad 96.  
Kalorimeter 14.  
Kinetische Energie 7, 59.  
Knoblauch u. Jakob, spez. Wärme 14, 126.  
Kombinierte Turbinen 68.  
Kontinuitätsgesetz 43.  
Kritischer Druck 39.  
Kurve konstanten Dampfgehalts 29.  
— — Volumens 29.  
Labyrinthdichtung 86.  
Labyrinthverluste 87.  
Leerlaufarbeit 92.  
Leistung 93.  
Mechanischer Wirkungsgrad 98.  
Mehrstufige Gleichdruckturbinen 63.  
Mittel zur Verminderung der Umlaufzahl 60.  
Mollier, Diagramme 30, 52.  
—, Spez. Volumen 13.  
Niederdruckturbine 77.  
Polytropische Expansion 11.  
Potentielle Energie 7.

- Rädervorgelege 61.  
 Radialturbine 59, 117.  
 Radreibung 89.  
 Reaktionsgrad 68.  
 Reaktionswirkung 60, 66.  
 Reibungsverluste in Düsen 48.  
 — — Turbinen 89.  
  
 Schaufelverlust 84.  
 Schwingungsverlust 80.  
 Spaltverluste 81.  
 Spez. Dampfmenge 22.  
 — Volumen 13.  
 — Wärme 14.  
 Stoßverluste 80.  
 Strömende Energie 7.  
  
 Theoretischer Dampfverbrauch 103.  
 Theoretische Gesamtleistung 93.  
  
 Thermischer Wirkungsgrad 28.  
 Torsions-Dynamometer 95.  
  
 Überdruckturbine 74.  
 Überdruckwirkung 60, 66.  
 Überhitzter Wasserdampf 15.  
 — —, Bewertung 17.  
 — —, Drosselung 32.  
 — —, Gesamtwärme 17.  
 Umlaufzahl, Verminderung 60 ff.  
  
 Ventilationsverluste 92.  
 Verluste in Düsen 48, 51.  
 — — Turbinen 78 ff.  
 Verminderung der Umlaufzahl 60.  
  
 Wärme, spezifische 14.  
  
 Wärmeausnutzung d. Kolbendampfmasch. und Turbine 105.  
 Wärmegefälle 11.  
 Wärmestrahlung 89.  
 Wasserdampf, Ausströmung 33, 38.  
 —, gesättigter 12.  
 —, überhitzter 15.  
 Wiederholte Beaufschlagung 63.  
 Wirbelverluste 80.  
 Wirklicher Dampfverbrauch 103.  
 Wirkungsgrad, Berechnung 111.  
 —, effektiver 95, 99.  
 —, indizierter 97 ff., 117.  
 —, thermischer 28, 95.  
 —, wirtschaftlicher 100.  
  
 Zweidruckturbine 77.

# Sammlung

Jeder Band  
in Leinw. geb.

90 Pf.

# Böschchen

## Verzeichnis der bis jetzt erschienenen Bände

**Abwässer.** Wasser und Abwässer. Ihre Zusammensetzung, Beurteilung u. Untersuchung von Professor Dr. Emil Hafelhoff, Vorsteher der landw. Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 473.

**Ackerbau- u. Pflanzenbaulehre** v. Dr. Paul Rippert i. Essen u. Ernst Langenbeck, Gr.-Lichterfelde. Nr. 232.

**Agrarwesen und Agrarpolitik** von Prof. Dr. W. Wygodzinski in Bonn. 2 Bändchen. I: Boden u. Unternehmung. Nr. 592.

— II: Kapital u. Arbeit in der Landwirtschaft. Bewertung der landwirtschaftl. Produkte. Organisation des landwirtschaftl. Berufsstandes. Nr. 593.

**Agrikulturchemie I: Pflanzenernährung** v. Dr. Karl Grauer. Nr. 329.

**Agrikulturchemische Kontrollwesen, Das,** v. Dr. Paul Kriehle in Leopoldshall-Staßfurt. Nr. 304.

— **Untersuchungsmethoden** von Prof. Dr. Emil Hafelhoff, Vorsteher der landwirtschaftl. Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 470.

**Akkumulatoren, Die, für Elektrizität** v. Kais. Reg.-Rat Dr.-Ing. Richard Albrecht in Berlin-Zehlendorf. Mit 52 Figuren. Nr. 620.

**Akustik. Theoret. Physik I: Mechanik u. Akustik.** Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an d. Techn. Hochschule in Wien. Mit 19 Abb. Nr. 76.

— **Musikalische,** von Professor Dr. Karl L. Schäfer in Berlin. Mit 36 Abbild. Nr. 21.

**Algebra. Arithmetik und Algebra** von Dr. S. Schubert, Professor an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.

**Algebra. Beispielsammlung z. Arithmetik und Algebra** von Dr. Herm. Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenschule d. Johanneums i. Hamburg. Nr. 48.

**Algebraische Kurven.** Neue Bearbeitung von Dr. S. Weileitner, Gymnasialprof. i. Birmasens. I: Gestaltliche Verhältnisse. Mit zahlreichen Fig. Nr. 435.

— II: Theorie u. Kurven dritter u. vierter Ordnung v. Eugen Beutel, Oberreall. in Baihingen-Enz. Mit 52 Fig. im Text. Nr. 436.

**Algen, Moose und Farnpflanzen** von Professor Dr. S. Klebahn in Hamburg. Mit zahlr. Abbildungen. Nr. 736.

**Alpen, Die,** von Dr. Rob. Sieger, Professor an der Universität Graz. Mit 19 Abb. u. 1 Karte. Nr. 129.

**Althochdeutsche Grammatik** von Dr. Hans Naumann, Privatdozent an der Universität Straßburg. Nr. 727.

**Althochdeutsche Literatur mit Grammatik, Übersetzung u. Erläuterungen** v. Th. Schaussler, Prof. am Realgymnasium in Ulm. Nr. 28.

**Althochdeutsches Lesebuch** von Dr. Hans Naumann, Privatdozent an der Universität Straßburg. Nr. 734.

**Alttestamentl. Religionsgeschichte** von D. Dr. Max Löhner, Professor an der Universität Königsberg. Nr. 292.

**Amphibien. Das Tierreich III: Reptilien u. Amphibien** v. Dr. Franz Berner, Prof. an der Universität Wien. Mit 48 Abbild. Nr. 383.

**Analyse, Techn.-Chem.,** von Dr. S. Lunge, Prof. a. d. Eidgen. Polytechnischen Schule in Zürich. Mit 16 Abb. Nr. 195.

- Analysis, Höhere, I: Differentialrechnung.** Von Dr. Frdr. Junker, Rektor des Realgymnasiums u. der Oberrealschule in Göttingen. Mit 67 Figuren. Nr. 87.
- — **Repetitorium und Aufgabensammlung zur Differentialrechnung** von Dr. Frdr. Junker, Rektor d. Realgymnas. u. d. Oberrealsch. in Göttingen. Mit 46 Fig. Nr. 146.
- — **II: Integralrechnung.** Von Dr. Friedr. Junker, Rektor des Realgymnas. u. d. Oberrealschule in Göttingen. Mit 89 Fig. Nr. 88.
- — **Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung** v. Dr. Friedr. Junker, Rekt. d. Realgymnas. und der Oberrealschule in Göttingen. Mit 50 Fig. Nr. 147.
- **Niedere**, von Prof. Dr. Benedikt Sporer in Gdingen. Mit 5 Fig. Nr. 53.
- Arbeiterfrage, Die gewerbliche**, von Werner Sombart, Prof. an der Handelshochschule Berlin. Nr. 209.
- Arbeiterversicherung** siehe: Sozialversicherung.
- Archäologie** von Dr. Friedrich Koepf, Prof. an der Universität Münster i. W. 3 Bändchen. M. 28 Abb. im Text u. 40 Tafeln. Nr. 538/40.
- Arithmetik u. Algebra** von Dr. Herm. Schubert, Prof. a. d. Gelehrten-schule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.
- — **Beispielsammlung zur Arithmetik und Algebra** von Dr. Herm. Schubert, Prof. a. d. Gelehrten-schule des Johanneums in Hamburg. Nr. 48.
- Armee Pferd, Das, und die Versorgung** der modernen Heere mit Pferden v. Felix von Dammh, General der Kavallerie z. D. u. ehemal. Preuß. Remonteinspekteur. Nr. 514.
- Armenwesen und Armenfürsorge.** Einführung in d. soziale Hilfsarbeit v. Dr. Adolf Weber, Prof. an der Handelshochschule in Köln. Nr. 346.
- Arzneimittel, Neuere, ihre Zusammensetzung, Wirkung und Anwendung** von Dr. med. C. Bachem, Professor der Pharmakologie an der Universität Bonn. Nr. 669.
- Ästhetik, Allgemeine**, von Prof. Dr. Max Diez, Lehrer a. d. Kgl. Akademie d. bild. Künste in Stuttgart. Nr. 300.
- Astronomie. Größe, Bewegung u. Entfernung** der Himmelskörper v. A. F. Möbius, neu bearb. von Dr. Herm. Kobold, Prof. an der Universität Kiel. I: Das Planetensystem. Mit 33 Abbildungen. Nr. 11.
- — **II: Kometen, Meteore u. das Sternsystem.** Mit 15 Figuren und 2 Sternkarten. Nr. 529.
- Astronomische Geographie** von Dr. Siegm. Günther, Professor an der Technischen Hochschule in München. Mit 52 Abbildungen. Nr. 92.
- Astrophysik.** Die Beschaffenheit der Himmelskörper v. Prof. W. F. Wislicenus. Neu bearbeitet von Dr. H. Ludendorff in Potsdam. Mit 15 Abbild. Nr. 91.
- Atherische Ole und Nächststoffe** von Dr. F. Rochussen in Miltitz. Mit 9 Abbildungen. Nr. 446.
- Auffassungswürfe** v. Oberstudientrat Dr. L. W. Straub, Rektor des Oberhard-Ludwigs-Gymnas. i. Stuttg. Nr. 17.
- Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate** von Wihl. Weitbrecht, Prof. der Geodäsie in Stuttgart. 2 Bändchen. Mit 16 Figuren. Nr. 302 u. 641.
- Außereuropäische Erdteile, Länderkunde der**, von Dr. Franz Heberich, Professor an der Exportakademie in Wien. Mit 11 Textfärtchen und Profilen. Nr. 63.
- Australien. Landeskunde u. Wirtschaftsgeographie des Festlandes** Australiens von Dr. Kurt Hassert, Prof. d. Geographie an d. Handels-Hochschule in Köln. Mit 8 Abb., 6 graph. Tab. u. 1 Karte. Nr. 319.
- Autogenes Schweiß- und Schneidverfahren** von Ingen. Hans Niese in Kiel. Mit 30 Figuren. Nr. 499.
- Bade- u. Schwimmanstalten, Öffentliche**, v. Dr. Karl Wolff, Stadtoberbaur., Hannover. M. 50 Fig. Nr. 380.
- Baden. Badische Geschichte** von Dr. Karl Brunner, Prof. am Gymnas. in Pforzheim u. Privatdozent der Geschichte an der Technischen Hochschule in Karlsruhe. Nr. 230.
- **Landeskunde von Baden** von Prof. Dr. O. Kienitz i. Karlsruhe. Mit Profil., Abb. u. 1 Karte. Nr. 199.

**Bahnhöfe. Hochbauten der Bahnhöfe** v. Eisenbahnbauinspekt. C. Schwab, Vorstand d. Kgl. C.-Hochbauinspektion Stuttgart II. I: Empfangsgebäude, Nebengebäude. Güterschuppen, Lokomotivschuppen. Mit 91 Abbildungen. Nr. 515.

**Balkanstaaten. Geschichte d. christlichen Balkanstaaten** (Bulgarien, Serbien, Rumänien, Montenegro, Griechenland) von Dr. R. Roth in Rempten. Nr. 331.

**Bankwesen** siehe: Kredit- und Bankwesen.

**Bankwesen. Technik des Bankwesens** von Dr. Walter Conrad, stellvert. Vorsteher der statist. Abteilung der Reichsbank in Berlin. Nr. 434.

**Bauführung. Kurzgefaßtes Handbuch** über das Wesen der Bauführung v. Archit. Emil Beutinger, Assistent an d. Techn. Hochschule in Darmstadt. Nr. 35 Fig. u. 11 Tabell. Nr. 399.

**Baukunst, Die, des Abendlandes** v. Dr. R. Schäfer, Assist. a. Gewerbemuseum, Bremen. Mit 22 Abb. Nr. 74.

— **des Schulhauses** v. Prof. Dr.-Ing. Ernst Vetterlein, Darmstadt. In Das Schulhaus. Nr. 38 Abb. Nr. 443.

— **II: Die Schulräume — Die Nebenanlagen.** Nr. 31 Abb. Nr. 444.

**Baummaschinen, Die,** von Ingenieur Johannes Körting in Düsseldorf. Mit 130 Abbildungen. Nr. 702.

**Bausteine. Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels** von Dr. G. Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Tafeln. Nr. 234.

**Baustoffkunde, Die,** v. Prof. H. Haberstroh, Oberl. a. d. Herzogl. Bau- u. Gewerkschule Holzminnen. Mit 36 Abbildungen. Nr. 506.

**Bayern. Bayerische Geschichte** von Dr. Hans Odell. Augsburg. Nr. 160.

— **Landeskunde des Königreichs Bayern** v. Dr. W. Göb, Prof. a. d. Kgl. Techn. Hochschule München. Nr. Profül., Abb. u. 1 Karte. Nr. 176.

**Befestigungswesen. Die geschichtliche Entwicklung des Befestigungswesens vom Aufkommen der Pulvergeschütze bis zur Neuzeit** von Reuleaux, Major b. Stabe d. 1. Westpreuß. Pionierbataill. Nr. 17. Mit 30 Bildern. Nr. 569.

**Beschwerderecht. Das Disziplinar- u. Beschwerderecht für Heer u. Marine** v. Dr. Max E. Mayer, Prof. a. d. Univ. Straßburg i. E. Nr. 517.

**Betriebskraft, Die zweckmäßigste,** von Friedr. Barth, Obergering. in Nürnberg. 1. Teil: Einleitung. Dampf- u. Kraftanlagen. Nr. 27 Abb. Nr. 224.

— **II: Gas-, Wasser- u. Wind-Kraftanlagen.** Nr. 31 Abb. Nr. 225.

— **III: Elektromotoren. Betriebskosten tabellen.** Graph. Darstell. Wahl d. Betriebskraft. Nr. 27 Abb. Nr. 474.

**Bevölkerungswissenschaft. Eine Einführung in die Bevölkerungsprobleme der Gegenwart** von Dr. Otto Most, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf, Vorstand des Städtischen Statistischen Amtes und Dozent an der Akademie für kommunale Verwaltung. Nr. 696.

**Bewegungsspiele** v. Dr. E. Kohlrausch, Prof. am Kgl. Kaiser Wilh.-Gymn. zu Hannover. Mit 15 Abb. Nr. 96.

**Bleicherei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** v. Dr. Wilh. Massot, Prof. a. d. Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

**Blütenpflanzen, Das System der, mit Ausschluß der Gymnospermen** von Dr. R. Pilger, Kustos am Kgl. Botanischen Garten in Berlin-Dahlem. Mit 31 Figuren. Nr. 393.

**Bodenkunde** von Dr. B. Bageler in Königsberg i. Pr. Nr. 455.

**Bolivia. Die Cordillerenstaaten** von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. I: Einleitung, Bolivia u. Peru. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 652.

**Brandenburg. Preussische Geschichte** von Prof. Dr. M. Thamm, Dir. des Kaiser Wilhelms-Gymnasiums in Montabaur. Nr. 600.

**Brasilien. Landeskunde der Republik Brasilien** von Bel. Rodolpho von Ihering. Mit 12 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 373.

**Brauereiwesen I: Mälzerei** von Dr. Paul Dreverhoff, Dir. der Brauerei- u. Mälzerei zu Grimma. Mit 16 Abbildungen. Nr. 303.

— **II: Brauerei.** Mit 35 Abbildungen. Nr. 724.

**Britisch-Nordamerika. Landeskunde** von Dr. A. Doppel in Bremen. Mit 13 Abb. und 1 Karte. Nr. 284.

**Brückenbau, Die allgemeinen Grundlagen des**, von Prof. Dr.-Ing. Th. Landsberg, Geh. Baurat in Berlin. Mit 45 Figuren. Nr. 687.

**Buchführung in einfachen u. doppelten Posten** v. Prof. Rob. Stern, Oberl. d. Öffentl. Handelslehranst. u. Doz. d. Handelshochschule zu Leipzig. Nr. vielen Formul. Nr. 115.

**Buddha** von Professor Dr. Edmund Hardy. Nr. 174.

**Burgenkunde, Abriss der**, von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 30 Abbildungen. Nr. 119.

**Bürgerliches Gesetzbuch** siehe: Recht des BGB.

**Byzantinisches Reich. Geschichte des byzantinischen Reiches** von Dr. A. Roth in Kempten. Nr. 190.

**Chemie, Allgemeine u. physikalische**, von Dr. Hugo Kauffmann, Prof. an der Königl. Techn. Hochschule in Stuttgart. 2 Teile. Mit 15 Figuren. Nr. 71. 698.

— **Analytische**, von Dr. Johannes Goppe in München. I: Theorie und Gang der Analyse. Nr. 247.

— **II: Reaktion der Metalloide und Metalle**. Nr. 248.

— **Anorganische**, von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 37.

— **Geschichte der**, von Dr. Hugo Bauer, Assst. am chemischen Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I: Von den ältesten Zeiten bis z. Verbrennungstheorie von Lavoisier. Nr. 264.

— **II: Von Lavoisier bis zur Gegenwart**. Nr. 265.

— **der Kohlenstoffverbindungen** von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium d. Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191. 192.

— **III: Karbochylische Verbindungen**. Nr. 193.

— **IV: Heterochylische Verbindungen**. Nr. 194

— **Organische**, von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 38.

**Chemie, Pharmazeutische**, von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. 4 Bändchen. Nr. 543/44, 588 u. 682.

— **Physiologische**, von Dr. med. H. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.

— **II: Dissimilation**. Nr. 1 Tafel. Nr. 241.

— **Toxikologische**, von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. Mit 6 Abbildungen. Nr. 465.

**Chemische Industrie, Anorganische**, von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. I: Die Leblancsoda-industrie und ihre Nebenweige. Mit 12 Tafeln. Nr. 205.

— **II: Salinenwesen, Kalisalze, Düngerindustrie und Verwandtes**. Mit 6 Tafeln. Nr. 206.

— **III: Anorganische chemische Präparate**. Nr. 6 Taf. Nr. 207.

**Chemische Technologie, Allgemeine**, von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.

**Chemisch-Technische Analyse** von Dr. G. Lunge, Prof. an der Eidgen. Polytechnischen Schule in Zürich. Mit 16 Abbild. Nr. 195.

**Chemisch-technische Rechnungen** v. Chem. H. Degener. Mit 4 Figuren. Nr. 701.

**Chile, Landeskunde** von (República de Chile) von Prof. Dr. F. Stange in Schleswig. Mit 3 Profilen, 16 Taf. u. 1 lithogr. Karte. Nr. 743.

**Christlichen Literaturen des Orients, Die**, von Dr. Anton Baumstark. I: Einleitung. — Das christlich-arabische u. d. koptische Christentum. Nr. 527.

— **II: Das christl.-arab. und das äthiop. Christentum**. — Das christl. Christentum d. Armenier und Georgier. Nr. 528.

**Colombia. Die Cordillerenstaaten** von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. II: Ecuador, Colombia u. Venezuela. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 653.

**Cordillerenstaaten, Die**, von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. I: Einleitung, Bolivia u. Peru. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 652.

— **II: Ecuador, Colombia u. Venezuela**. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 653.

- Dampfessel, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. den praktischen Gebrauch von Obergeringenieur Friedr. Barth in Nürnberg. I: Kesselsysteme und Feuerungen. Mit 43 Fig. Nr. 9.
- — II: Bau und Betrieb der Dampfessel. W. 57 Fig. Nr. 521.
- Dampfmaschinen, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedr. Barth, Obergeringenieur in Nürnberg. 2 Bdn. I: Wärmetheoretische und dampftechn. Grundlag. Mit 64 Fig. Nr. 8.
- — II: Bau u. Betrieb der Dampfmaschinen. Mit 109 Fig. Nr. 572.
- Dampfturbinen, Die,** ihre Wirkungsweise u. Konstruktion von Ingen. Herm. Wilda, Prof. a. staatl. Technikum in Bremen. 3 Bdn. Mit zahlr. Abb. Nr. 274, 715 u. 716.
- Desinfektion** von Dr. M. Christian, Stabsarzt a. D. in Berlin. Mit 18 Abbildungen. Nr. 546.
- Determinanten** von P. B. Fischer, Oberl. a. d. Oberrealsch. z. Großlichterfelde. Nr. 402.
- Deutsche Altertümer** von Dr. Franz Fuhse, Dir. d. städt. Museums in Braunschweig. Nr. 70 Abb. Nr. 124.
- Deutsche Fortbildungsschulwesen,** Das, nach seiner geschichtlichen Entwicklung u. in seiner gegenwärt. Gestalt von H. Cierds, Revisor gewerbl. Fortbildungsschulen in Schleswig. Nr. 392.
- Deutsches Fremdwörterbuch** von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 273.
- Deutsche Geschichte** von Dr. F. Kurze, Prof. a. Kgl. Luisengymnas. in Berlin. I: Mittelalter (bis 1519). Nr. 33.
- — II: Zeitalter der Reformation und der Religionskriege (1517 bis 1648). Nr. 34.
- — III: Vom Westfälischen Frieden bis zur Auflösung des alten Reichs (1648—1806). Nr. 35.
- — siehe auch: Quellenkunde.
- Deutsche Grammatik** und kurze Geschichte der deutschen Sprache von Schulrat Prof. Dr. O. Lyon in Dresden. Nr. 20.
- Deutsche Handelskorrespondenz** von Prof. Th. de Beaup, Officier de l'Instruction Publique. Nr. 182.
- Deutsches Handelsrecht** von Dr. Karl Lehmann, Prof. an der Universität Göttingen. 2 Bde. Nr. 457 u. 458.
- Deutsche Heldensage, Die,** von Dr. Otto Luitp. Jiriczek, Prof. a. d. Univ. Würzburg. Mit 5 Taf. Nr. 32.
- Deutsche Kirchenlied, Das,** in seinen charakteristischen Erscheinungen ausgewählt v. D. Friedrich Spitta, Prof. a. d. Universität in Straßburg i. E. I: Mittelalter u. Reformationszeit. Nr. 602.
- Deutsches Kolonialrecht** von Prof. Dr. H. Ebler von Hoffmann, Studien- direktor d. Akademie f. Kommunale Verwaltung in Düsseldorf. Nr. 318.
- Deutsche Kolonien. I: Logo** und Kamerun von Prof. Dr. K. Dove. Nr. 16 Taf. u. 1 lithogr. Karte. Nr. 441.
- II: Das Südseegebiet und Riantschou von Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Tafeln u. 1 lith. Karte. Nr. 520.
- III: Ostafrika von Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 567.
- — IV: Südwestafrika von Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Taf. und 1 lithogr. Karte. Nr. 637.
- Deutsche Kulturgeschichte** von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.
- Deutsches Leben im 12. u. 13. Jahrhundert.** Realkommentar zu den Volks- u. Kunstepen u. zum Minnesang. Von Prof. Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg i. B. I: Öffentliches Leben. Mit zahlreichen Abbildungen. Nr. 93.
- — II: Privatleben. Mit zahlreichen Abbildungen. Nr. 328.
- Deutsche Literatur des 13. Jahrhunderts.** Die Epigonen d. höfischen Epos. Auswahl a. deutschen Dichtungen des 13. Jahrhunderts von Dr. Viktor Junt, Aktuar der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Nr. 289.
- Deutsche Literaturdenkmäler des 14. u. 15. Jahrhunderts.** Ausgewählt und erläutert von Dr. Hermann Janßen, Direktor d. Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 181.
- des 16. Jahrhunderts. I: Martin Luther und Thom. Murner. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaighmn. zu Leipzig. Nr. 7.

- Deutsche Literaturdenkmäler des 16. Jahrhunderts.** II: Hans Sachs. Ausgewählt u. erläutert. v. Prof. Dr. J. Sahr. Nr. 24.
- — III: Von Brant bis Kollenhagen: Brant, Hutten, Fischart, sowie Tierapoß u. Fabel. Ausgew. u. erläutert. von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 36.
- des 17. und 18. Jahrhunderts bis Klopstock. I: Lyril von Dr. Paul Legband in Berlin. Nr. 364.
- — II: Prosa v. Dr. Hans Legband in Kassel. Nr. 365.
- Deutsche Literaturgeschichte** von Dr. Max Koch, Prof. an der Universität Breslau. Nr. 31.
- Deutsche Literaturgeschichte** d. Klassikerzeit v. Carl Weitbrecht, durchgesehen u. ergänzt v. Karl Berger. Nr. 161.
- des 19. Jahrhunderts von Carl Weitbrecht, neu bearbeitet von Dr. Rich. Weitbrecht in Wimpfen. I. II. Nr. 134. 135.
- Deutsche Lyril, Geschichte der,** von Prof. Dr. Rich. Findeis in Wien. 2 Bde. Nr. 737/8.
- Deutschen Mundarten, Die,** von Prof. Dr. H. Reis in Mainz. Nr. 605.
- Deutsche Mythologie. Germanische Mythologie** von Dr. Eugen Mogk, Prof. an der Universität Leipzig. Nr. 15.
- Deutschen Personennamen, Die,** v. Dr. Rud. Kleinpaul i. Leipzig. Nr. 422.
- Deutsche Poetik** von Dr. R. Borinski, Prof. a. d. Univ. München. Nr. 40.
- Deutsche Rechtsgeschichte** v. Dr. Richard Schröder, Prof. a. d. Univers. Heidelberg. I: Bis z. Mittelalter. Nr. 621.
- — II: Die Neuzeit. Nr. 664.
- Deutsche Redelehre** von Hans Probst, Gymnasialprof. i. Bamberg. Nr. 61.
- Deutsche Schule, Die, im Auslande** von Hans Amrhein, Seminaroberlehrer in Rheydt. Nr. 259.
- Deutsches Seerecht** v. Dr. Otto Brandis, Oberlandesgerichtsrat in Hamburg. I: Allgem. Lehren: Personen u. Sachen d. Seerechts. Nr. 386.
- — II: Die einz. seerechtl. Schuldverhältnisse: Verträge des Seerechts u. außervertragliche Haftung. Nr. 387.
- Deutsche Stammeskunde** v. Dr. Rud. Much, a. v. Prof. a. d. Univ. Wien. Mit 2 Kart. u. 2 Taf. Nr. 126.
- Deutsche Stadt, Die, und ihre Verwaltung.** Eine Einführung i. d. Kommunalpolitik d. Gegenw. Herausgeg. v. Dr. Otto Most, Beigeordn. d. Stadt Düsseldorf. I: Verfassung u. Verwaltung im allgemeinen; Finanzen und Steuern; Bildungs- und Kunstpflege; Gesundheitspflege. Nr. 617.
- — II: Wirtschafts- u. Sozialpolitik. Nr. 662.
- — III: Technik: Städtebau, Tief- u. Hochbau. Mit 48 Abb. Nr. 663.
- Deutsches Unterrichtswesen. Geschichte des deutschen Unterrichtswesens** v. Prof. Dr. Friedrich Seiler, Direktor des Kgl. Gymnasiums zu Ludau. I: Von Anfang an bis zum Ende des 18. Jahrhunderts. Nr. 275.
- — II: Vom Beginn d. 19. Jahrh. bis auf die Gegenwart. Nr. 276.
- Deutsche Urheberrecht, Das,** an literarischen, künstlerischen u. gewerblichen Schöpfungen, mit besonderer Berücksichtigung der internat. Verträge v. Dr. Gust. Rauter, Patentanwalt in Charlottenburg. Nr. 263.
- Deutsche Volkslied, Das,** ausgewählt u. erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. 2 Bändchen. Nr. 25 u. 132.
- Deutsche Wehrverfassung** von Karl Endres, Geheimer Kriegsrat u. vortragender Rat im Kriegsministerium in München. Nr. 401.
- Deutsches Wörterbuch** v. Dr. Richard Loewe. Nr. 64.
- Deutsche Zeitungswesen, Das,** v. Dr. R. Brunhuber i. Köln a. Rh. Nr. 400.
- Deutsches Zivilprozessrecht** von Prof. Dr. Wilhelm Risch in Strakburg i. C. 3 Bände. Nr. 428—430.
- Deutschland in römischer Zeit** von Dr. Franz Cramer, Provinzialschulrat zu Münster i. W. Mit 23 Abbildungen. Nr. 633.
- Dichtungen aus mittelhochdeutscher Frühzeit.** In Ausw. mit Einltg. u. Wörterb. herausgeg. v. Dr. Herm. Janßen, Direktor d. Königin Luise-Schule i. Königsberg i. Pr. Nr. 137.
- Dietrichen. Kudrun und Dietrichen.** Mit Einleitung u. Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Prof. a. d. Universität Würzburg. Nr. 10.
- Differentialrechnung** von Dr. Friedr. Junker, Rektor d. Realgymnasiums u. der Oberrealschule in Göppingen. Mit 68 Figuren. Nr. 87.

- Differentialrechnung. Repetitorium u. Aufgabensammlung zur Differentialrechnung** v. Dr. Friedr. Junter, Rektor des Realgymnasiums u. d. Oberrealschule in Göppingen. Mit 46 Fig. Nr. 146.
- Disziplinar- u. Beschwerderecht für Heer u. Marine, Das**, von Dr. Max E. Mayer, Professor a. d. Universität Straßburg i. E. Nr. 517.
- Drogenkunde** von Rich. Dorstewitz in Leipzig und Georg Ottersbach in Hamburg. Nr. 413.
- Druckwasser- und Druckluft-Anlagen. Pumpen, Druckwasser- u. Druckluft-Anlagen** von Dipl.-Ing. Rudolf Vogdt, Regierungsbaumstr. a. D. in Aachen. Mit 87 Fig. Nr. 290.
- Ecuador. Die Cordillerenstaaten** von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. II: Ecuador, Colombia u. Venezuela. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 653.
- Ebdalieder mit Grammatik, Uebersetzg. u. Erläuterungen** von Dr. Wilhelm Ranisch, Gymnasialoberlehrer in Osabrück. Nr. 171.
- Eisenbahnbau. Die Entwicklung des modernen Eisenbahnbaues** v. Dipl.-Ing. Alfred Vint, o. ö. Prof. a. d. k. k. Deutschen Techn. Hochschule in Prag. Mit 27 Abbild. Nr. 553.
- Eisenbahnbetrieb, Der**, v. S. Scheidner, Königl. Oberbaurat a. D. in Berlin. Mit 3 Abbildgn. Nr. 676.
- Eisenbahnen, Die Linienführung der**, von G. Wegele, Professor an der Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 52 Abbildungen. Nr. 623.
- Eisenbahnfahrzeuge** von G. Hinnenthal, Regierungsbaumeister u. Oberingen. in Hannover. I: Die Lokomotiven. Mit 89 Abbild. im Text und 2 Tafeln. Nr. 107.
- II: Die Eisenbahnwagen und Bremsen. Mit Anh.: Die Eisenbahnfahrzeuge im Betrieb. Mit 56 Abb. im Text u. 3 Taf. Nr. 108.
- Eisenbahnpolitik. Geschichte d. deutschen Eisenbahnpolitik** v. Betriebsinspektor Dr. Edwin Rech in Karlsruhe i. B. Nr. 533.
- Eisenbahnverkehr, Der**, v. Kgl. Eisenbahn-Rechnungsdirektor Th. Wilbrand in Berlin-Friedenau. Nr. 618.
- Eisenbetonbau, Der**, v. Reg.-Baumstr. Karl Kögle. Nr. 75 Abbild. Nr. 349.
- Eisenbetonbrücken** von Dr.-Ing. A. W. Schaechterle in Stuttgart. Mit 104 Abbildungen. Nr. 627.
- Eisenhüttenkunde** von A. Krauß, dipl. Hütteningenieur. I: Das Roheisen. Mit 17 Fig. u. 4 Taf. Nr. 152.
- II: Das Schmiedeeisen. Nr. 25 Fig. u. 5 Taf. Nr. 153.
- Eisenkonstruktionen im Hochbau** von Ingen. Karl Schindler in Meissen. Mit 115 Figuren. Nr. 322.
- Eiszeitalter, Das**, v. Dr. Emil Werth in Berlin-Wilmersdorf. Mit 17 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 431.
- Elastizitätslehre für Ingenieure I: Grundlagen und Allgemeine über Spannungszustände, Zylinder, Ebene Platten, Torsion, Gekrümmte Träger.** Von Dr.-Ing. Max Enßlin, Prof. a. d. Kgl. Bauwerkshule Stuttgart und Privatdozent a. d. Techn. Hochschule Stuttgart. Mit 60 Abbild. Nr. 519.
- Elektrischen Meßinstrumente, Die**, von J. Herrmann, Prof. an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Mit 195 Figuren. Nr. 477.
- Elektrische Öfen** von Dr. Hans Goerges in Berlin-Südende. Mit 68 Abbildgn. Nr. 704.
- Elektrische Schaltapparate** von Dr.-Ing. Erich Beckmann, Professor an der Technischen Hochschule Hannover. Mit 54 Fig. u. 107 Abb. auf 20 Tafeln. Nr. 711.
- Elektrische Telegraphie, Die**, von Dr. Lud. Kellstab. Mit 19 Fig. Nr. 172.
- Elektrizität. Theoret. Physik III: Elektrizität u. Magnetismus** von Dr. Gust. Jäger, Prof. a. d. Techn. Hochschule in Wien. Mit 33 Abbildgn. Nr. 78.
- Elektrochemie** von Dr. Heinr. Danneel in Genf. I: Theoretische Elektrochemie u. ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 16 Fig. Nr. 252.
- II: Experiment. Elektrochemie, Meßmethoden, Leitfähigkeit, Lösungen. Mit 26 Fig. Nr. 253.
- Elektromagnet. Lichttheorie. Theoret. Physik IV: Elektromagnet. Lichttheorie u. Elektronik** von Professor Dr. Gust. Jäger in Wien. Mit 21 Figuren. Nr. 374.
- Elektrometallurgie** von Dr. Friedrich Regelsberger, Kaiserl. Reg.-Rat in Steglitz-Berlin. Nr. 16 Fig. Nr. 110.

- Elektrotechnik.** Einführung in die Starkstromtechnik v. J. Herrmann, Prof. d. Elektrotechnik an der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I: Die physikalischen Grundlagen. Mit 95 Fig. u. 16 Taf. Nr. 196.
- II: Die Gleichstromtechnik. Mit 118 Fig. und 16 T. f. Nr. 197.
- III: Die Wechselstromtechnik. Mit 154 Fig. u. 16 Taf. Nr. 198.
- IV: Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie. Mit 96 Figuren u. 16 Tafeln. Nr. 657.
- Elektrotechnik.** Die Materialien des Maschinenbaues und der Elektrotechnik von Ing. Prof. Herm. Wilba i. Bremen. M. 3 Abb. Nr. 476.
- Elfaß-Lothringen, Landeskunde** von, v. Prof. Dr. R. Langenbed in Straßburg i. E. Mit 11 Abbild. u. 1 Karte. Nr. 215.
- Englisch.** Neuenglische Laut- u. Formenlehre siehe: Neuenglisch.
- Englisch-deutsches Gesprächsbuch** von Prof. Dr. E. Hausknecht in Lausanne. Nr. 424.
- Englisch für Techniker.** Ein Lese- und Übungsbuch f. Ing. u. zum Gebrauch an Techn. Lehranstalten. Unter Mitarb. v. Albany Featherstonhaugh, Dozent a. d. militärtechn. Akad. i. Charlottenburg herausgeg. von Ingenieur Carl Volk, Direktor der Reuth-Schule, Berlin. I. Teil. Mit 25 Fig. Nr. 705.
- Englische Geschichte** v. Prof. L. Gerber, Oberlehrer in Düsseldorf. Nr. 375.
- Englische Handelskorrespondenz** von E. E. Whitfield, M. A., Oberlehrer an King Edward VII Grammar School in King's Lynn. Nr. 237.
- Englische Literaturgeschichte** von Dr. Karl Weiser in Wien. Nr. 69.
- Englische Literaturgeschichte.** Grundzüge und Haupttypen d. englischen Literaturgeschichte von Dr. Arnold M. M. Schröber, Professor an der Handelshochschule in Köln. 2 Teile. Nr. 286, 287.
- Englische Phonetik mit Lesestücken** von Dr. A. C. Dunstan, Lektor an der Univ. Königsberg i. Pr. Nr. 601.
- Entwicklungsgeschichte der Tiere** von Dr. Johannes Meisenheimer, Prof. der Zoologie an der Universität Jena. I: Furchung, Primitivlagen, Larven, Formbildung, Embryonalhüllen. Mit 48 Fig. Nr. 378.
- Entwicklungsgeschichte der Tiere** von Dr. Joh. Meisenheimer, Prof. der Zool. a. d. Univ. Jena. II: Organbildg. Mit 46 Fig. Nr. 379.
- Epigonen, Die, des höfischen Epos.** Auswahl aus deutschen Dichtungen des 13. Jahrhunderts von Dr. Viktor Junk, Altarius d. Kaiserl. Akad. der Wissenschaften in Wien. Nr. 289.
- Erbrecht.** Recht des Bürgerl. Gesetzbuches. Fünftes Buch: Erbrecht von Dr. Wilhelm von Blume, ord. Prof. der Rechte an der Univ. Tübingen. I. Abteilung: Einleitung. — Die Grundlagen des Erbrechts. II. Abteilung: Die Nachlassbeteiligten. Mit 23 Figuren. Nr. 659/60.
- Erbbau** von Reg.-Baum. Erwin Link in Stuttgart. Mit 72 Abbild. Nr. 630.
- Erdmagnetismus, Erdstrom u. Polarlicht** von Dr. A. Rippoldt, Mitglied des Königl. Preussischen Meteorologischen Instituts in Potsdam. Mit 7 Tafeln und 16 Figuren. Nr. 175.
- Erdteile, Länderkunde der außereuropäischen,** von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. d. Exportakad. in Wien. Mit 11 Textkärtchen u. Profilen. Nr. 63.
- Ernährung und Nahrungsmittel** von Oberstabsarzt Professor S. Bischoff in Berlin. Mit 4 Abbild. Nr. 464.
- Ethik** von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.
- Europa, Länderkunde von,** von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. d. Exportakademie in Wien. Mit 14 Textkärtchen u. Diagrammen u. einer Karte der Alpenenteilung. Nr. 62.
- Exkursionsflora von Deutschland** zum Bestimmen d. häufigeren i. Deutschland wildwachsenden Pflanzen von Dr. W. Wigula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. 2 Teile. Mit je 50 Abbildungen. Nr. 268 und 269.
- Experimentalphysik** v. Prof. R. Langin Stuttgart. I: Mechanik d. fest., flüss. u. gasigen Körper. Nr. 125 Fig. Nr. 611.
- II: Wellenlehre u. Akustik. Mit 69 Figuren. Nr. 612.
- Explosivstoffe.** Einführung in d. Chemie der explosiven Vorgänge von Dr. S. Brunswig in Steglitz. Mit 6 Abbild. und 12 Tab. Nr. 333.
- Familienrecht.** Recht d. Bürgerlichen Gesetzbuches. Viertes Buch: Familienrecht von Dr. Heinrich Tixe, Prof. a. d. Univ. Göttingen. Nr. 305.

**Färberei, Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** von Dr. Wilhelm Massot, Prof. an der Preussischen höheren Fachschule f. Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

**Farnpflanzen** siehe: Algen, Moose und Farnpflanzen.

**Feldgeschütz, Das moderne, u. Oberstleutnant W. Heydenreich, Militärlehrer a. d. Militärtechn. Akademie in Berlin. I: Die Entwicklung des Feldgeschützes seit Einführung des gezogenen Infanteriegewehrs bis einschl. der Erfindung des rauchl. Pulvers, etwa 1850 bis 1890.** Mit 1 Abbild. Nr. 306.

— **II: Die Entwicklung d. heutigen Feldgeschützes auf Grund der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1890 bis zur Gegenwart.** Mit 11 Abbild. Nr. 307.

**Fernmeldewesen. Das elektrische Fernmeldewesen bei den Eisenbahnen** von R. Fint, Geheim. Raturat in Hannover. Mit 50 Figuren. Nr. 707.

**Fernsprechwesen, Das, von Dr. Ludwig Kellstab in Berlin.** Mit 47 Fig. und 1 Tafel. Nr. 155.

**Festigkeitslehre v. Prof. W. Hauber, Dipl.-Ing.** Mit 56 Fig. Nr. 288.

— **Aufgabensammlung zur Festigkeitslehre mit Lösungen** von R. Haren, Diplom-Ingenieur in Mannheim. Mit 42 Fig. Nr. 491.

**Fette, Die, und Ole sowie die Seifen- u. Kerzenfabrikat. u. d. Harze, Lade, Firnisse m. ihren wicht. Hilfsstoffen** von Dr. Karl Braun in Berlin. I: Einführung in die Chemie, Besprechung einiger Salze und der Fette und Ole. Nr. 335.

— **II: Die Seifenfabrikation, die Seifenanalyse und die Kerzenfabrikation.** Mit 25 Abbildungen. Nr. 336.

— **III: Harze, Lade, Firnisse.** Nr. 337.

**Feuerwaffen. Geschichte d. gesamten Feuerwaffen bis 1850.** Die Entwicklung der Feuerwaffen v. ihrem ersten Auftreten bis zur Einführung d. gegog. Hinterlader, unter besond. Berücksichtig. d. Heeresbewaffnung von Major a. D. W. Gohlke, Steglitz-Berlin. Mit 105 Abbildungen. Nr. 530.

**Feuerwerkerei, Die, von Direktor Dr. Alfons Bujard, Vorstand des Städt. Chemischen Laboratoriums in Stuttgart.** Mit 6 Fig. Nr. 634.

**Filzfabrikation, Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Geh. Regierungsr. im Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Fig. Nr. 185.

**Finanzsysteme der Großmächte, Die, (Internat. Staats- und Gemeindefinanzwesen) v. D. Schwarz, Geh. Oberfinanzrat in Berlin.** 2 Bändchen. Nr. 450 und 451.

**Finanzwissenschaft** von Präsident Dr. R. van der Vorcht in Berlin. I: Allgemeiner Teil. Nr. 148.

— **II: Besonderer Teil (Steuerlehre).** Nr. 391.

**Finnisch-ugrische Sprachwissenschaft** von Dr. Josef Sjunnel, Prof. an der Universität Budapest. Nr. 463.

**Finnland. Landeskunde des Europäischen Rußlands nebst Finnlands** von Prof. Dr. A. Philippson in Halle a. S. Nr. 359.

**Firnisse. Harze, Lade, Firnisse** von Dr. Karl Braun in Berlin. (Fette und Ole III.) Nr. 337.

**Fische. Das Tierreich IV: Fische** von Prof. Dr. Max Rauther in Neapel. Mit 37 Abbild. Nr. 356.

**Fischerei und Fischzucht** von Dr. Karl Edstein, Prof. a. d. Forstakademie Eberswalde, Abteilung, Abteilungs-Abtinent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 159.

**Flechten, Die. Eine Übersicht unserer Kenntnisse** v. Prof. Dr. G. Lindau, Kustos a. Kgl. Botanisch. Museum, Privatdozent an d. Univerf. Berlin. Mit 55 Figuren. Nr. 683.

**Flora. Exkursionsflora von Deutschland zum Bestimmen der häufigeren in Deutschland wildwachsenden Pflanzen** v. Dr. W. Rigula, Prof. a. d. Forstakademie Eisenach. 2 Teile. Mit je 50 Abbild. Nr. 268, 269.

**Flußbau** von Regierungsbaumeister Otto Kappold in Stuttgart. Mit 103 Abbildungen. Nr. 597.

**Fördermaschinen, Die elektrisch betriebenen, von A. Balthasar, Dipl.-Bergingenieur.** Mit 62 Figuren. Nr. 678.

- Forenfische Pfyhiatrie** von Professor Dr. W. Wehmandt, Dir. d. Irrenanftalt Friedrichsberg i. Hamburg. 2 Bändchen. Nr. 410 u. 411.
- Forftwiffenfchaft** v. Dr. Ab. Schwappach, Prof. a. d. Forftakad. Oberwalde, Abteil.-Dirig. b. d. Hauptftat. d. forftl. Veruchswefens. Nr. 106.
- Fortbildungsschulwefen**, Das deutſche, nach feiner gefchichtl. Entwicklung u. i. feiner gegenwärt. Geftalt v. H. Sierds, Reviſor gewerbl. Fortbildungsschulen in Schlefwig. Nr. 392.
- Franken**. Geſchichte Frankens v. Dr. Chriſt. Meyer, Kgl. preuß. Staatsarchivar a. D., Münchens. Nr. 434.
- Frankreich**. Franzöfiſche Geſchichte v. Dr. R. Sternfeld, Prof. an der Univerſität Berlin. Nr. 85.
- Frankreich**. Landesk. v. Frankreich v. Dr. Rich. Neuſe, Direkt. d. Oberrealkhule in Spandau. 1. Bändch. Nr. 23 Abb. im Text u. 16 Landſchaftsbild. auf 16 Taf. Nr. 466.
- 2. Bändchen. Mit 15 Abb. im Text, 18 Landſchaftsbild. auf 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 467.
- Franzöfiſch-deutſches Geſprächsbuch** von C. Francillon, Lektor am orientaliſch. Seminar u. an d. Handelshochſchule in Berlin. Nr. 596.
- Franzöfiſche Grammatik** von Cyprien Francillon, Lehrer am orient. Seminar und an der Handelshochſchule in Berlin. Nr. 729.
- Franzöfiſche Handelskorreſpondenz** v. Prof. Th. de Beauz, Officier de l'Inſtruction Publique. Nr. 183.
- Franzöfiſches Leſebuch** mit Wörterverzeichnis von Cyprien Francillon, Lektor a. orient. Seminar u. a. d. Handelshochſchule i. Berlin. Nr. 643.
- Fremdwort**, Das, im Deutſchen v. Dr. Rud. Kleinpaul, Leipzig. Nr. 55.
- Fremdwörterbuch**, Deutſches, von Dr. Rud. Kleinpaul, Leipzig. Nr. 273.
- Fuge**. Erläuterung u. Anleitung zur Kompoſition derſelben v. Prof. Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 418.
- Funktionentheorie** von Dr. Konrad Knopp, Privatdozent an der Univerſität Berlin. I: Grundlagen der allgemeinen Theorie der analyt. Funktionen. Mit 9 Fig. Nr. 668.
- II: Anwendungen der Theorie zur Unterſuchung ſpezieller analytiſcher Funktionen. Mit 10 Figuren. Nr. 703.
- Funktionentheorie**, Einleitung in die, (Theorie der komplexen Zahlenreihen) von Max Noſe, Oberlehrer an der Goetheſchule in Deutſch-Wilmersdorf. Mit 10 Fig. Nr. 581.
- Fußartillerie**, Die, ihre Organifation, Bewaffnung u. Ausbildg. v. Eplett, Oberleutn. im Lehrbat. d. Fußart.-Schießſchule u. Biermann, Oberleutn. in der Veruchsbatt. d. Art.-Prüfungskomm. Nr. 35 Fig. Nr. 560.
- Gardinenfabrikation**. Textilinduftrie II: Weberei, Wirkerei, Poſamentiererei, Spiken- u. Gardinenfabrikation u. Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Geh. Reg.-Rat im Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Figuren. Nr. 185.
- Gas- und Waſſerinstallationen** mit Einſchluß der Abortanlagen von Prof. Dr. phil. und Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmſtadt. Mit 119 Abbildungen. Nr. 412.
- Gaskraftmaſchinen**, Die, v. Ing. Alfred Kirſchle in Kiel. 2 Bändchen. Mit 116 Abb. u. 6 Tafeln. Nr. 316 u. 651.
- Gaſthäuser und Hotels** von Architekt Max Böhler in Düſſeldorf. I: Die Beftandteile u. die Einrichtung des Gaſthauſes. Mit 70 Fig. Nr. 525.
- II: Die verſchiedenen Arten von Gaſthäuſern. Mit 82 Fig. Nr. 526.
- Gebirgsartillerie**. Die Entwicklung der Gebirgsartillerie von Klufmann, Oberſt u. Kommandeur der 1. Feld-Art.-Brigade in Königsberg i. Pr. Mit 78 Bildern und Ueberſichtſtafeln. Nr. 531.
- Genoffenfchaftswefen**, Das, in Deutſchland v. Dr. Otto Lindede in Düſſeldorf. Nr. 384.
- Geodäſie** von Prof. Dr. C. Reinherz in Hannover. Neubearbeitet von Dr. G. Förſter, Obſervator a. Geodätiſch. Juſt. Potsdam. Nr. 68 Abb. Nr. 102.
- Vermeffungskunde von Diplom.-Ing. P. Werkmeiſter, Oberlehr. a. d. Kaiſ. Techn. Schule i. Straßburg i. E. I: Feldmeſſen u. Nivellieren. Mit 146 Abb. II: Der Theodolit. Trigonometr. u. barometr. Höhenmeſſig. Taſchmetr. Nr. 109 Abb. Nr. 468, 469.
- Geographie**, Geſchichte der, von Prof. Dr. Konrad Kretſchmer i. Charlottenburg. Mit 11 Kart. im Text. Nr. 624.

**Geologie** in kurzem Auszug f. Schulen u. zur Selbstbelehrung zusammengestellt v. Prof. Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abbild. u. 4 Tafeln mit 51 Figuren. Nr. 13.

**Geometrie, Analytische, der Ebene** v. Prof. Dr. M. Simon in Strassburg. Mit 52 Figuren. Nr. 65.

— **Aufgabensammlung zur Analytischen Geometrie der Ebene** von O. Th. Bürklen, Professor am Kgl. Realgymnasium in Schwäb.-Gmünd. Mit 32 Fig. Nr. 256.

— **des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon in Strassburg. Mit 28 Abbildungen. Nr. 89.

— **Aufgabensammlung zur Analytischen Geometrie des Raumes** von O. Th. Bürklen, Professor am Kgl. Realgymnasium in Schwäb.-Gmünd. Mit 8 Fig. Nr. 309.

— **Darstellende**, von Dr. Robert Haußner, Prof. an d. Univ. Jena, I. Mit 110 Figuren. Nr. 142.

— II. Mit 40 Figuren. Nr. 143.

— **Ebene**, von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit 111 zweifarbigen Figuren. Nr. 41.

— **Projektive**, in synthet. Behandlung von Dr. Karl Doehlemann, Prof. an der Universität München. Mit 91 Figuren. Nr. 72.

**Geometrische Optik, Einführung in die**, von Dr. W. Hinrichs in Wilmersdorf-Berlin. Nr. 532.

**Geometrisches Zeichnen** von S. Beder, Architekt u. Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neubearbeitet von Prof. J. Vonderlinn in Münster. Mit 290 Figuren und 23 Tafeln im Text. Nr. 58.

**Germanische Mythologie** von Dr. E. Vogt, Prof. a. d. Univ. Leipzig. Nr. 15.

**Germanische Sprachwissenschaft** von Dr. Rich. Loewe. Nr. 238.

**Gesangskunst. Technik der deutschen Gesangskunst** von Osk. Kos u. Dr. Hans Joachim Moser. Nr. 576.

**Geschäfts- und Warenhäuser** v. Hans Schliepmann, Königl. Baurat in Berlin. I: Vom Laden zum „Grand Magasin“. Mit 23 Abb. Nr. 655.

— II: Die weitere Entwicklung d. Kaufhäuser. Mit 39 Abb. Nr. 656.

**Geschichtswissenschaft, Einleitung in die**, v. Dr. Ernst Bernheim, Prof. an der Univ. Greifswald. Nr. 270.

**Geschütze, Die modernen, der Fußartillerie** v. Mummehoff, Oberstleutnant u. Kommand. d. Thür. Fußartillerie Regts. Nr. 18. I: Vom Auftreten d. gezogenen Geschütze bis zur Verwendung des rauchschwachen Pulvers 1850—1890. Mit 50 Textbildern. Nr. 334.

— II: Die Entwicklung der heutigen Geschütze der Fußartillerie seit Einführung des rauchschwachen Pulvers 1890 bis zur Gegenwart. Mit 33 Textbildern. Nr. 362.

**Geschwindigkeitsregler der Kraftmaschinen**, Die, v. Dr.-Ing. S. Kröner in Friedberg. Mit 33 Fig. Nr. 604.

**Gesetzbuch, Bürgerliches**, siehe: Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches.

**Gesundheitslehre. Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten** v. E. Rehmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. S. Seiler. Mit 47 Abbild. u. 1 Tafel. Nr. 18.

**Gewerbehygiene** von Dr. E. Roth in Potsdam. Nr. 350.

**Gewerbewesen** von Werner Sombart, Professor an der Handelshochschule Berlin. I. II. Nr. 203, 204.

**Gewerbliche Arbeiterfrage, Die**, von Werner Sombart, Prof. a. d. Handelshochschule Berlin. Nr. 209.

**Gewerbliche Bauten. Industrielle und gewerbliche Bauten** (Speicher, Lagerhäuser u. Fabriken) v. Architekt Heinr. Salzmann in Düsseldorf. I: Allgemeines über Anlage und Konstruktion der industriellen und gewerblichen Bauten. Nr. 511.

— II: Speicher und Lagerhäuser. Mit 123 Figuren. Nr. 512.

**Gewichtswesen. Maß-, Münz- u. Gewichtswesen** v. Dr. Aug. Blind, Prof. a. d. Handelsschule in Köln. Nr. 283.

**Giebereimaschinen** von Dipl.-Ing. Emil Treiber in Heidenheim a. D. Mit 51 Figuren. Nr. 548.

**Glas- und keramische Industrie** (Industrie der Silikate, der künstlichen Bausteine und des Mörtels I) v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Tafeln. Nr. 233.

**Gleichstrommaschine, Die**, von Ing. Dr. E. Ringbrunner in London. Mit 81 Figuren. Nr. 257.

- Gletscherkunde** v. Dr. Fritz Nachgeel in Wien. Mit 5 Abbildungen im Text und 11 Tafeln. Nr. 154.
- Gotische Sprachdenkmäler** mit Grammatik, Uebersetzung u. Erläuterung v. Dr. Herm. Janßen, Direktor d. Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 79.
- Gottfried von Straßburg**. Hartmann von Aue. Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl a. d. höfisch. Epos m. Anmerk. u. Wörterbuch v. Dr. K. Marold, Prof. am kgl. Friedrichs-Kolleg. zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.
- Graphische Darstellung** in Wissenschaft und Technik von Dr. Marcello v. Pirani, Obering., Privatdozent an der kgl. Techn. Hochschule in Charlottenburg. Mit 58 Fig. Nr. 728.
- Graphischen Künste**, Die, von Carl Kampmann, k. k. Lehrer an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit zahlreichen Abbildungen u. Beilagen. Nr. 75.
- Griechisch**. Neugriechisch • deutsches Gesprächsbuch siehe: Neugriechisch.
- Griechisch**. Neugriechisches Lesebuch siehe: Neugriechisch.
- Griechische Altertumskunde** v. Prof. Dr. Rich. Maish, neu bearbeitet v. Rektor Dr. Franz Bohlhammer. Mit 9 Vollbildern. Nr. 16.
- Griechische Geschichte** von Dr. Heinrich Swoboda, Professor an d. deutschen Universität Prag. Nr. 49.
- Griechische Literaturgeschichte** mit Berücksichtigung d. Geschichte der Wissenschaften v. Dr. Alfred Gerde, Prof. an der Univ. Breslau. 2 Bändchen. Nr. 70 u. 557.
- Griechischen Papyri**, Auswahl aus, von Prof. Dr. Robert Helbing in Karlsruhe i. B. Nr. 625.
- Griechischen Sprache**, Geschichte der, I: Bis zum Ausgange d. Klassischen Zeit v. Dr. Otto Hoffmann, Prof. an der Univ. Münster. Nr. 111.
- Griechische u. römische Mythologie** v. Prof. Dr. Herm. Steuding, Rekt. d. Gymnas. in Schneeberg. Nr. 27.
- Grundbuchrecht**, Das formelle, von Oberlandesgerichtsr. Dr. F. Krehshmar in Dresden. Nr. 549.
- Handelspolitik**, Auswärtige, von Dr. Heinr. Sieveking, Professor an der Universität Zürich. Nr. 245.
- Handelsrecht**, Deutsches, von Dr. Carl Lehmann, Prof. an d. Universität Göttingen. I: Einleitung. Der Kaufmann u. seine Hilfspersonen. Offene Handelsgesellschaft. Kommandit- und stille Gesellschaft. Nr. 457.
- II: Aktiengesellschaft. Gesellsch. m. b. H. Eing. Gen. Handelsgech. Nr. 458.
- Handelschulwesen**, Das deutsche, von Direktor Theodor Blum in Dessau. Nr. 558.
- Handelsstand**, Der, von Rechtsanwält Dr. jur. Bruno Springer in Leipzig (Kaufmann. Rechtskunde. Bd. 2). Nr. 545.
- Handelswesen**, Das, von Geh. Oberregierungsrat Dr. Wilh. Lexis, Professor an der Universität Göttingen. I: Das Handelspersonal und der Warenhandel. Nr. 296.
- II: Die Effektenbörse und die innere Handelspolitik. Nr. 297.
- Handfeuerwaffen**, Die Entwicklung der, seit der Mitte des 19. Jahrhunderts u. ihr heutiger Stand von G. Wrzobel, Hauptmann u. Kompagniechef im Inf.-Reg. Freiherr Hiller von Gärtringen (4. Posensches) Nr. 59 i. Soldau. Nr. 21 Abb. Nr. 366.
- Harmonielehre** von A. Galm. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 120.
- Hartmann von Aue**, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus d. höfischen Epos mit Anmerk. u. Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am königl. Friedrichs-Kollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.
- Harze**, Lacke, Firnisse von Dr. Carl Braun in Berlin. (Die Fette und Ole III). Nr. 337.
- Hebezeuge**, Die, ihre Konstruktion u. Berechnung von Ing. Prof. Herm. Wilda, Bremen. Mit 399 Abb. Nr. 414.
- Heeresorganisation**, Die Entwicklung der, seit Einführung der stehenden Heere von Otto Neuschler, Hauptmann und Kompagniechef. I: Geschichtliche Entwicklung bis zum Ausgange d. 19. Jahrh. Nr. 552.
- II: Die Heeresorganisation im 20. Jahrhundert. Nr. 731.

- Heizung u. Lüftung v. Ing. Johannes Körting in Düsseldorf. I: Das Wesen u. die Berechnung der Heizungs- u. Lüftungsanlagen. Mit 34 Figuren. Nr. 342.
- II: Die Ausführung der Heizungs- u. Lüftungsanlagen. Mit 191 Figuren. Nr. 343.
- Hessen. Landeskunde des Großherzogtums Hessen, der Provinz Hessen-Nassau und des Fürstentums Waldeck v. Prof. Dr. Georg Greim in Darmstadt. Mit 13 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 376.
- Hieroglyphen von Geh. Regier.-Rat Dr. Ad. Erman, Prof. an der Universität Berlin. Nr. 608.
- Hochspannungstechnik, Einführ. in die moderne, von Dr.-Ing. R. Fischer in Hamburg-Bergedorf. Mit 92 Fig. Nr. 609.
- Holz, Das. Aufbau, Eigenschaften u. Verwendung v. Ing. Prof. Herm. Wilda in Bremen. Mit 33 Abb. Nr. 459.
- Hotels, Gasthäuser und Hotels von Archit. Max Wöhler in Düsseldorf. I: Die Bestandteile u. d. Einrichtg. des Gasthauses. Mit 70 Fig. Nr. 525.
- II: Die verschiedenen Arten von Gasthäusern. Mit 82 Fig. Nr. 526.
- Hydraulik v. W. Hauber, Dipl.-Ing. in Stuttgart. Mit 44 Fig. Nr. 397.
- Hygiene des Städtebaus, Die, von Prof. S. Chr. Ruxbaum in Hannover. Mit. 30 Abb. Nr. 348.
- des Wohnungswesens, Die, von Prof. S. Chr. Ruxbaum in Hannover. Mit 20 Abbild. Nr. 363.
- Iberische Halbinsel. Landeskunde der Iberischen Halbinsel von Dr. Fritz Regel, Prof. a. d. Univ. Würzburg. M. 8 Rärtchen u. 8 Abb. im Text u. 1 Karte in Farbendruck. Nr. 235.
- Indische Religionsgeschichte von Prof. Dr. Edmund Hardy. Nr. 83.
- Indogerman. Sprachwissenschaft von Dr. R. Meringer, Professor an der Univers. Graz. M. 1 Tafel. Nr. 59.
- Industrielle u. gewerbliche Bauten (Speicher, Lagerhäuser u. Fabriken) von Architekt Heinr. Salzmann in Düsseldorf. I: Allgemeines üb. Anlage u. Konstruktion d. industriellen u. gewerblichen Bauten. Nr. 511.
- II: Speicher und Lagerhäuser. Mit 123 Figuren. Nr. 512.
- Infektionskrankheiten, Die, und ihre Verhütung von Stabsarzt Dr. W. Hoffmann in Berlin. Mit 12 vom Verfasser gezeichneten Abbildungen und einer Fiebertafel. Nr. 327.
- Insekten. Das Tierreich V: Insekten v. Dr. J. Groß in Neapel (Station e Zoolog.). Mit 56 Abb. Nr. 594.
- Instrumentenlehre v. Musikdir. Professor Franz Mayerhoff in Chemnitz. I: Text. Nr. 437.
- II: Notenbeispiele. Nr. 438.
- Integralrechnung von Dr. Friedr. Junker, Rekt. d. Realgymnasiums u. d. Oberrealschule in Göppingen. Mit 89 Figuren. Nr. 88.
- Integralrechnung. Repetitorium u. Aufgabensammlung zur Integralrechnung von Dr. Friedr. Junker, Rekt. d. Realgymnasiums u. der Oberrealschule in Göppingen. Mit 52 Figuren. Nr. 147.
- Israel. Geschichte Israels bis auf die griechische Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 231.
- Italienische Handelskorrespondenz v. Prof. Alberto de Beaug, Oberlehrer am Königl. Institut S. S. Annunziata in Florenz. Nr. 219.
- Italienische Literaturgeschichte von Dr. Karl Bogler, Professor an der Universität München. Nr. 125.
- Jugendpflege I: Männliche Jugend von S. Eierds. Vorsitzender des Vereins für Jugendwohlfahrt in Schleswig-Holstein in Schleswig. Nr. 714.
- Kalkulation, Die, im Maschinenbau v. Ing. S. Bethmann, Doz. a. Technik. Altenburg. Mit 63 Abb. Nr. 486.
- Kältemaschinen. Die thermodynamischen Grundlagen der Wärme- und Kältemaschinen von M. Röttinger, Dipl.-Ing. in Mannheim. Mit 73 Figuren. Nr. 2.
- Kamerun. Die deutschen Kolonien I: Logo und Kamerun von Prof. Dr. Karl Dove. Mit 16 Tafeln und einer lithogr. Karte. Nr. 441.
- Kampf um befestigte Stellungen, seine Formen und Grundsätze von Major Tierch, Kommandeur des Kurhessisch. Pionier-Bat. Nr. 11. Nr. 732.
- Kampfformen u. Kampfesweise der Infanterie von Heinr. Oberleutnant beim Etape des 5. Westpreussischen Infanterie-Regiments Nr. 148 in Bromberg. Mit 15 Abbildgn. Nr. 712.

- Kanal- und Schleusenbau** von Regierungsbaumeister Otto Rappold in Stuttgart. Mit 78 Abb. Nr. 585.
- Kant, Immanuel.** (Geschichte d. Philosophie Bd. 5) v. Dr. Bruno Bauch, Prof. a. d. Univ. Jena. Nr. 536.
- Kartell u. Truß** v. Dr. S. Tschierschky in Düsseldorf. Nr. 522.
- Kartenkunde** von Dr. M. Groll, Kartograph i. Berlin. 2 Bändchen. I: Die Projektionen. Mit 56 Fig. Nr. 30.
- II: Der Karteninhalt u. das Messen auf Karten. Mit 39 Fig. Nr. 599.
- Kartographische Aufnahmen** u. geograph. Ortsbestimmung auf Reisen von Dr.-Ing. R. Fugershoff, Prof. an der Forstakademie zu Tharandt. Mit 73 Figuren. Nr. 607.
- Katholischen Kirche, Geschichte der, von der Mitte des 18. Jahrh. bis zum Vatikanischen Konzil** von Geh. Kons.-Rat Prf. D. Mirbt i. Göttingen. Nr. 700.
- Kaufmännische Rechtskunde. I:** Das Wechselwesen v. Rechtsanwalt Dr. Rud. Mothes in Leipzig. Nr. 103.
- II: Der Handelsstand v. Rechtsanw. Dr. jur. B. Springer, Leipzig. Nr. 545.
- Kaufmännisches Rechnen** von Prof. Richard Just, Oberlehrer a. d. Öffentl. Handelshochschule d. Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139, 140, 187.
- Keilschrift, Die,** von Dr. Bruno Meißner, o. Professor a. d. Universität Breslau. Mit 6 Abbildungen. Nr. 708.
- Keramische Industrie.** Die Industrie der Silikate, der künstlichen Bausteine und des Mörtels von Dr. Gust. Rauter. I: Glas- u. keram. Industrie. Mit 12 Taf. Nr. 233.
- Kerzenfabrikation.** Die Seifenfabrikation, die Seifenanalyse und die Kerzenfabrikation von Dr. Karl Braun in Berlin. (Die Fette u. Öle II.) Mit 25 Abb. Nr. 336.
- Kiautschou.** Die deutschen Kolonien II: Das Südseegebiet und Kiautschou v. Prof. Dr. R. Dove. Mit 16 Taf. u. 1 lithogr. Karte. Nr. 520.
- Kinderrecht u. Kinderschutz** von Assessor H. E. Wendel in Grunewald. Nr. 693.
- Kinematik** von Dipl.-Ing. Hans Polster, Assist. a. d. Kgl. Techn. Hochschule Dresden. Nr. 76 Abb. Nr. 584.
- Kirchenrecht** v. Dr. E. Sehling, ord. Prof. d. Rechte in Erlangen. Nr. 377
- Klima und Leben** (Biosklimatologie) von Dr. Wilh. H. Eckardt, Assist. an der öffentl. Wetterdienststelle in Weilburg. Nr. 629.
- Klimafunde I:** Allgemeine Klimalehre von Prof. Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Taf. u. 2 Figuren. Nr. 114.
- Kolonialgeschichte** von Dr. Dietrich Schäfer, Professor der Geschichte an der Universität Berlin. Nr. 156.
- Kolonialrecht, Deutsches,** von Prof. Dr. H. Eder von Hoffmann, Studien- direktor d. Akademie für kommunale Verwaltung in Düsseldorf. Nr. 318.
- Kometen. Astronomie.** Größe, Bewegung u. Entfernung d. Himmelskörper v. A. F. Möbius, neu bearb. v. Dr. Germ. Kobold, Prof. an der Univ. Kiel. II: Kometen, Meteore u. das Sternsystem. Mit 15 Fig. u. 2 Sternkarten. Nr. 529.
- Kommunale Wirtschaftspflege** von Dr. Alfons Nieß, Magistratsassessor in Berlin. Nr. 534.
- Kompositionslehre.** Musikalische Formenlehre v. Steph. Krehl. I. II. Nr. viel. Notenbeispiel. Nr. 149, 150.
- Kontrapunkt.** Die Lehre von der selbständigen Stimmführung v. Steph. Krehl in Leipzig. Nr. 390.
- Kontrollwesen, Das agrilkulturchemische,** von Dr. Paul Kirche in Leopoldshall-Staßfurt. Nr. 304.
- Koordinatensysteme** v. Paul B. Fischer, Oberl. a. d. Oberrealschule zu Groß-Lichterfelde. Mit 8 Fig. Nr. 507.
- Körper, Der menschliche, sein Bau und seine Tätigkeiten** von E. Rehm, Oberlehrer i. Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Nr. 47 Abb. u. 1 Taf. Nr. 18.
- Kostenanschlag** siehe: Veranschlagen.
- Kredit- und Bankwesen** von Geh. Oberregierungsrat Wilhelm Legis, Prof. an der Univ. Göttingen. Nr. 733.
- Kriegsschiffbau.** Die Entwicklung des Kriegsschiffbaues vom Altertum bis zur Neuzeit. Von Tjard Schwarz, Geh. Marinebaurat u. Schiffbau- Direktor. I. Teil: Das Zeitalter der Ruderschiffe u. der Segelschiffe s. d. Kriegsführung zur See vom Altertum bis 1840. Mit 32 Abb. Nr. 471.
- II. Teil: Das Zeitalt. der Dampfschiffe s. d. Kriegsführ. z. See v. 1840 bis zur Neuzeit. Mit 81 Abb. Nr. 472

- Kriegswesen, Geschichte des**, von Dr. Emil Daniels in Berlin. I: Das antike Kriegswesen. Nr. 488.  
 — II: Das mittelalterliche Kriegswesen. Nr. 498.  
 — III: Das Kriegswesen der Neuzeit. Erster Teil. Nr. 518.  
 — IV: Das Kriegswesen der Neuzeit. Zweiter Teil. Nr. 537.  
 — V: Das Kriegswesen der Neuzeit. Dritter Teil. Nr. 568.  
 — VI: Das Kriegswesen der Neuzeit. Viertes Teil. Nr. 670.  
 — VII: Das Kriegswesen der Neuzeit. Fünfter Teil. Nr. 671.
- Kristallographie** v. Dr. W. Brühns, Prof. a. d. Bergakademie Clausthal. Mit 190 Abbild. Nr. 210.
- Kristalloptik, Einführung in die**, von Dr. Eberhard Buchwald i. München. Mit 124 Abbildungen. Nr. 619.
- Kubrun und Dietrichshen.** Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Professor an der Universität Würzburg. Nr. 10.
- Kultur, Die, der Renaissance.** Gesittung, Forschung, Dichtung v. Dr. Robert F. Arnold, Professor an der Universität Wien. Nr. 189.
- Kulturgeschichte, Deutsche**, von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.
- Kurvendiskussion. Algebraische Kurven** von E. Ventel, Oberreallehrer in Baihingen-Enz. I: Kurvendiskussion. Mit 57 Fig. im Text. Nr. 435.
- Kurzschrift** siehe: Stenographie.
- Küstenartillerie. Die Entwicklung der Schiffs- und Küstenartillerie bis zur Gegenwart** v. Korvettenkapitän Hüning. Mit Abb. u. Tab. Nr. 606.
- Lacke. Harze, Lacke, Firnisse** von Dr. Karl Braun in Berlin. (Die Fette und Ole III.) Nr. 337.
- Lagerhäuser. Industrielle und gewerbliche Bauten.** (Speicher, Lagerhäuser u. Fabriken) von Architekt H. Salzmann, Düsseldorf. I: Allgem. über Anlage u. Konstrukt. d. industr. u. gewerbl. Bauten. Nr. 511.  
 — II: Speicher u. Lagerhäuser. Mit 123 Fig. Nr. 512.
- Länder- und Völkernamen** von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 478.
- Landstraßenbau** von Kgl. Oberlehrer A. Liebmann, Betriebsdirekt. a. D. i. Magdeburg. Mit 44 Fig. Nr. 598.
- Landwirtschaftliche Betriebslehre** v. E. Langenbeck in Groß-Lichterfelde. Nr. 227.
- Landwirtschaftlichen Maschinen, Die**, von Karl Balthar, Diplom.-Ing. in Mannheim. 3 Bänden. Mit vielen Abbildgn. Nr. 407—409.
- Lateinische Grammatik. Grundriß der latein. Sprachlehre** v. Prof. Dr. W. Botsch in Magdeburg. Nr. 82.
- **Sprache. Geschichte der lateinischen Sprache** v. Dr. Friedr. Stolz, Prof. an d. Univ. Innsbruck. Nr. 492.
- Lateinisches Lesebuch für Oberrealschulen** und zum Selbststudium enthaltend: Cäsars Kämpfe mit den Germanen und den zweiten Punischen Krieg von Professor Lic. theol. Johannes Hillmann, Oberlehrer an der Klinger-Oberrealschule in Frankfurt a. M. Mit Votabular. Nr. 713.
- Laubhölzer, Die.** Kurzgefaßte Beschreibung der in Mitteleuropa einheimischen Bäume und Sträucher, sowie der wichtigeren in Gärten gezogenen Laubholzpflanzen von Dr. F. W. Reger, Professor an der Kgl. Forstakademie Tharandt. Mit 74 Textabbildgn. und 6 Tabellen. Nr. 718.
- Leuchtgasfabrikation, Die Nebenprodukte der**, von Dr. phil. R. K. Lange, Diplom.-Ingenieur. Mit 13 Figuren. Nr. 661.
- Licht. Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme.** Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Techn. Hochschule in Wien. Nr. 47 Abb. Nr. 77.
- Logarithmen. Vierstellige Tafeln** und Gegentafeln für logarithmisches u. trigonometrisches Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr. Herm. Schubert, Prof. an der Lehrerschule des Johanneums in Hamburg. Neue Ausgabe v. Dr. Robert Haußner, Prof. an der Universität Jena. Nr. 81.
- **Fünfstellige**, von Professor August Adler, Direktor der k. k. Staatsoberrealschule in Wien. Nr. 423.
- Logik. Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie** von Professor Dr. Th. Eschenhans. Mit 13 Figuren. Nr. 14.
- Lokomotiven. Eisenbahnfahrzeuge** von H. Hinnenthal. I: Die Lokomotiven Mit 89 Abb. im Text u. 2 Tafeln. Nr. 107.

- Lothringen. Geschichte Lothringens** von Dr. Herm. Derichsweiler, Geh. Regierungsrat in Straßburg. Nr. 6.
- **Landeskunde v. Elsaß-Lothringen** v. Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abb. u. 1 Karte. Nr. 215.
- Lötrohrprobierkunde. Qualitative Analyse mit Hilfe des Lötrohrs** von Dr. Mart. Henglein in Freiberg i. Sa. Mit 10 Figuren. Nr. 483.
- Lübeck. Landeskunde v. Großherzogtümer Mecklenburg u. der Freien u. Hansestadt Lübeck** v. Dr. Sebald Schwarz, Direktor der Realschule zum Dom in Lübeck. Mit 17 Abbildungen und Karten im Text und 1 lithographischen Karte. Nr. 487.
- Luftelektrizität** von Dr. Karl Rähler, wissenschaftlichem Hilfsarbeiter am Königl. Preuß. Meteorologisch-Magnetischen Observatorium in Potsdam. Mit 18 Abb. Nr. 649.
- Lufsalpeter. Seine Gewinnung** durch den elektrischen Flammenbogen von Dr. G. Brion, Prof. an der Kgl. Bergakademie in Freiberg. Mit 50 Figuren. Nr. 616.
- Luft- und Meeresströmungen** von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigationschule zu Lübeck. Mit 27 Abbildungen und Tafeln. Nr. 551.
- Lüftung. Heizung und Lüftung** von Ing. Johannes Körting in Düsseldorf. I: Das Wesen und die Berechnung d. Heizungs- u. Lüftungsanlagen. Mit 34 Fig. Nr. 342.
- II: Die Ausführung der Heizungs- und Lüftungsanlagen. Mit 191 Figuren. Nr. 343.
- Luther, Martin, und Thom. Murner.** Ausgewählt und mit Einleitungen u. Anmerkungen versehen v. Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolai-Gymnasium zu Leipzig. Nr. 7.
- Magnetismus. Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus.** Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Technischen Hochschule Wien. Mit 33 Abbildungen. Nr. 78.
- Mälzerei. Brauereiwesen I: Mälzerei** von Dr. P. Dreverhoff, Direktor d. Öffentlichen und 1. Sächsl. Versuchstation für Brauerei und Mälzerei, sowie der Brauer- und Mälzerschule zu Grimma. Nr. 303.
- Märkte und Markthallen für Lebensmittel** von Richard Schachner, Städt. Baurat in München. I: Zweck und Bedeutung von Märkten u. Markthallen, ihre Anlage u. Ausgestalt. II: Markthallenbauten. Mit zahlr. Abb. Nr. 719 u. 720.
- Maschinenbau, Die Kalkulation im,** v. Ing. S. Bethmann, Doz. a. Techn. Altenburg. Mit 63 Abb. Nr. 486.
- **Die Materialien des Maschinenbaues und der Elektrotechnik** von Ingenieur Prof. Hermann Wilda. Mit 3 Abbildungen. Nr. 476.
- Maschinenelemente, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. praktischen Gebrauch von Fr. Barth, Oberingen. in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.
- Maschinenzeichnen, Praktisches,** von Obering. Rich. Schiffner in Warmbrunn. I: Grundbegriffe, Einfache Maschinenteile bis zu den Kupplungen. Mit 60 Tafeln. Nr. 589.
- II: Lager, Riem- u. Seilscheiben, Zahnräder, Kolbenpumpe. Mit 51 Tafeln. Nr. 590.
- Masalanalyse** von Dr. Otto Röhm in Darmstadt. Mit 14 Fig. Nr. 221.
- Maß-, Münz- und Gewichtswesen** von Dr. August Blind, Professor an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.
- Materialprüfungswesen. Einführung** in die moderne Technik d. Materialprüfung v. R. Remmler, Dipl.-Ing., ständ. Mitarbeiter a. Kgl. Materialprüfungsamte zu Gr.-Lichterfelde. I: Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfsmittel f. Festigkeitsversuche. Mit 58 Fig. Nr. 311.
- II: Metallprüfung und Prüfung v. Hilfsmaterialien des Maschinenbaues. — Baumaterialprüfung. — Papierprüfung. — Schmiermittelprüfung. — Einiges über Metallographie. Mit 31 Fig. Nr. 312.
- Mathematische Formelsammlung** und Repetitorium der Mathematik, enthaltend die wichtigsten Formeln u. Lehrsätze d. Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen und sphärischen Trigonometrie, math. Geographie, analyt. Geometrie der Ebene und des Raumes, der Differential- u. Integralrechnung v. D. Th. Bürklen, Prof. am Kgl. Realgymn. in Schw.-Gmünd. M. 18 Fig. Nr. 51.

- Mathematik, Geschichte der**, von Dr. A. Sturm, Prof. am Obergymnasium in Seitenstetten. Nr. 226.
- Maurer- und Steinhauerarbeiten** von Prof. Dr. phil. und Dr.-Ing. Ed. Schmitt in Darmstadt. 3 Bändchen. Mit vielen Abbild. Nr. 419—421.
- Mechanik. Theoret. Physik I. Teil: Mechanik und Akustik.** Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 19 Abbildungen. Nr. 76.
- Mechanische Technologie** von Geh. Hofrat Professor A. Libbide in Braunschweig. 2 Bändchen. Nr. 340, 341.
- Mecklenburg. Landeskunde d. Großherzogtümer Mecklenburg u. der Freien u. Hansestadt Lübeck** von Dr. Sebald Schwarz, Direktor der Realschule zum Dom in Lübeck. Mit 17 Abbild. im Text, 16 Taf. und 1 Karte in Lithographie. Nr. 487.
- Mecklenburgische Geschichte** von Oberlehrer Otto Witenje in Neubrandenburg i. M. Nr. 610.
- Medizin, Geschichte der**, von Dr. med. et phil. Paul Diepgen, Privatdozent für Geschichte der Medizin in Freiburg i. Br. I: Altertum. Nr. 679.
- Meereskunde, Physische**, von Prof. Dr. Gerhard Schott, Abteilungs- vorksteher bei d. Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 39 Abbildungen im Text und 8 Tafeln. Nr. 112.
- Meeresströmungen. Luft- u. Meeresströmungen** v. Dr. Franz Schulze, Dir. d. Navigationschule zu Lübeck. Mit 27 Abb. u. 1 Tafeln. Nr. 551.
- Meliorationen** v. Baurat Otto Fauser in Ellwangen. 2 Bdchen. Mit vielen Fig. Nr. 691/92.
- Menschliche Körper, Der, sein Bau u. seine Tätigkeiten** von E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre v. Dr. med. S. Seiler. Mit 47 Abb. u. 1 Tafel. Nr. 18.
- Metallographie.** Kurze, gemeinschaftliche Darstellung der Lehre von den Metallen u. ihren Legierungen unter besond. Berücksichtigung der Metallmikroskopie v. Prof. E. Sehn u. Prof. O. Bauer a. Rgl. Materialprüfungsamt (Gr.-Lichtersfelde) d. K. Techn. Hochschule zu Berlin. I: Allgem. Teil. Mit 45 Abb. im Text und 5 Lichtbildern auf 3 Tafeln. Nr. 432.
- Metallographie. II: Spez. Teil.** Mit 49 Abb. im Text und 37 Lichtbildern auf 19 Tafeln. Nr. 433.
- Metallurgie** von Dr. August Geiß in Kristiansand (Norwegen). I. II. Mit 21 Figuren. Nr. 313, 314.
- Meteore. Astronomie.** Größe, Bewegung u. Entfernung der Himmelskörper von A. F. Möbius, neu bearbeitet von Dr. Herm. Kobold, Prof. a. d. Univ. Kiel. II: Kometen, Meteore u. das Sternensystem. Mit 15 Fig. u. 2 Sternkarten. Nr. 529.
- Meteorologie** v. Dr. W. Trabert, Prof. an der Universität Wien. Mit 49 Abbild. u. 7 Tafeln. Nr. 54.
- Militärische Bauten** v. Rg.-Baumstr. R. Lang i. Stuttgart. M. 59 Abb. Nr. 626.
- Militärstrafrecht, Deutsches**, v. Dr. Max Ernst Mayer, Prof. an d. Univ. Straßburg i. E. 2 Bde. Nr. 371, 372.
- Mineralogie** von Geheimer Bergrat Dr. R. Brauns, Prof. an d. Univ. Bonn. Mit 132 Abbild. Nr. 29.
- Minnesang und Spruchdichtung.** Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen u. einem Wörterb. von O. Günther, Prof. an d. Oberrealschule u. an d. Techn. Hochschule i. Stuttgart. Nr. 23.
- Mittelhochdeutsche Dichtungen aus mittelhochdeutscher Frühzeit.** In Auswahl mit Einleitg. u. Wörterbuch herausgeg. von Dr. Hermann Jansen, Dir. d. Königin Luise-Schule i. Königsberg i. Pr. Nr. 137.
- Mittelhochdeutsche Grammatik.** Der Ribelunge Nöt in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurz. Wörterb. v. Dr. W. Golther, Prof. a. d. Univ. Rostock. Nr. 1.
- Moose** (siehe: Algen, Moose und Farnpflanzen).
- Morgenland. Geschichte des alten Morgenlandes** v. Dr. Fr. Hommel, Prof. an d. Universität München. Mit 9 Bildern u. 1 Karte. Nr. 43.
- Morphologie und Organographie der Pflanzen** v. Prof. Dr. R. Nordhaußen in Kiel. M. 123 Abb. Nr. 141.
- Mörtel.** Die Industrie d. künstlichen Bausteine und des Mörtels von Dr. G. Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Tafeln. Nr. 234.
- Mundarten, Die deutschen**, von Prof. Dr. G. Reis in Mainz. Nr. 605.

- Mundarten, Plattdeutsche**, von Dr. Hubert Grimme, Professor an der Univ. Münster i. W. Nr. 461.
- Münzwesen, Maß-, Münz- und Gewichtswesen** von Dr. Aug. Blind, Prof. a. d. Handelsschule in Köln. Nr. 283.
- Murner, Thomas. Martin Luther u. Thomas Murner.** Ausgewählt u. m. Einleitungen u. Anmerk. versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaighymn. zu Leipzig. Nr. 7.
- Musik, Geschichte der alten und mittelalterlichen**, v. Dr. A. Möhler in Steinhausen. 2 Bdch. Mit zahlr. Abb. u. Musikbeil. Nr. 121 u. 347.
- Musikalische Akustik** von Professor Dr. Karl V. Schäfer in Berlin. Mit 36 Abbildungen. Nr. 21.
- Musikal. Formenlehre (Kompositionslehre)** von Stephan Krehl. I. II. Mit viel. Notenbeisp. Nr. 149, 150.
- Musikästhetik** von Dr. Karl Grunsky in Stuttgart. Nr. 344.
- Musikgeschichte des 17. Jahrhunderts** v. Dr. Karl Grunsky i. Stuttgart. Nr. 239.
- Musikgeschichte des 18. Jahrhunderts** von Dr. Karl Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 710, 725.
- Musikgeschichte seit Beginn des 19. Jahrhunderts** v. Dr. K. Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 164, 165.
- Musiklehre, Allgemeine**, von Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 220.
- Nadelhölzer, Die**, von Dr. F. W. Neger, Prof. an der Königl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 85 Abbildungen, 5 Tabellen und 3 Karten. Nr. 355.
- Nahrungsmittel, Ernährung u. Nahrungsmittel** v. Oberstabsarzt Prof. G. Bischoff in Berlin. Mit 4 Abbildungen. Nr. 464.
- Nautik.** Kurzer Abriss d. täglich an Bord von Handelsschiffen angew. Theils d. Schiffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Dir. d. Navigationschule zu Lübeck. Mit 56 Abbildgn. Nr. 84.
- Neuenglische Laut- und Formenlehre** von Dr. Eilert Ekwall, Prof. an der Univ. Lund. Nr. 735.
- Neugriechisches Lesebuch (Schrift- und Volkssprache)** mit Glossar, gesammelt und erläutert von Dr. Johannes G. Kalitjanakis, Dozent am Orient. Sem. der Univ. in Berlin. Nr. 726.
- Neugriechisch-deutsches Gesprächsbuch** mit besond. Berücksichtigung d. Umgangssprache v. Dr. Johannes Kalitjanakis, Doz. am Seminar für orient. Sprache in Berlin. Nr. 587.
- Neunzehntes Jahrhundert. Geschichte des 19. Jahrhunderts** von Oskar Jäger, v. Honorarprof. a. d. Univ. Bonn. 1. Bdch.: 1800—1852. Nr. 216. — 2. Bändchen: 1853 bis Ende des Jahrhunderts. Nr. 217.
- Neutestamentliche Zeitgeschichte** von Lic. Dr. W. Staert, Prof. a. der Univ. in Jena. I: Der historische u. kulturgeschichtl. Hintergrund d. Urchristentums. R. 3 Karten. Nr. 325. — II: Die Religion d. Judentums im Zeitalter des Hellenismus und der Römerherrschaft. Mit 1 Planskizze. Nr. 326.
- Nibelunge Nöt, Der**, in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterb. v. Dr. W. Goltzer, Prof. an der Univ. Rostod. Nr. 1.
- Nordamerikanische Literatur, Geschichte** der, von Dr. Leon Kellner, Prof. an der Univ. Czernowitz. 2 Bänden. Nr. 685/86.
- Nordische Literaturgeschichte I: Die isländ. u. norweg. Literatur des Mittelalters** v. Dr. Wolfg. Goltzer, Prof. an der Universität Rostod. Nr. 254.
- Nyctflanzen** von Prof. Dr. F. Behrens, Vorst. d. Großherzogl. landwirtsch. Versuchsanst. Augustenberg. Mit 53 Figuren. Nr. 123.
- Ole. Die Fette u. Ole** sowie d. Seifen u. Kerzenfabrikation u. d. Harze, Lade, Firnisse mit ihren wichtigsten Hilfsstoffen von Dr. Karl Braun in Berlin. I: Einführung in d. Chemie, Besprechung einiger Salze u. der Fette und Ole. Nr. 335.
- Ole und Nächststoffe, Atherische**, von Dr. F. Rochussen in Wittig. Mit 9 Abbildungen. Nr. 446.
- Optik.** Einführung in d. geometrische Optik von Dr. W. Hinrichs in Wilmersdorf-Berlin. Nr. 532.
- Orientalische Literaturen. Die Hauptliteraturen des Orients** von Dr. M. Haberlandt, Privatdoz. an d. Universität Wien. I: Die Literaturen Ostasiens und Indiens. Nr. 162. — II: Die Literaturen der Perier, Semiten und Türken. Nr. 163.

- Orientalische Literaturen.** Die christlichen Literaturen des Orients von Dr. Ant. Baumstark. I: Einleitung. — Das christl.-aramäische u. d. kopt. Schrifttum. Nr. 527.
- II: Das christlich-arabische und das äthiopische Schrifttum. — Das christliche Schrifttum der Armenier und Georgier. Nr. 528.
- Ortsnamen im Deutschen,** Die, ihre Entwicklung u. ihre Herkunft von Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig-Gohlis. Nr. 573.
- Ostafrika.** Die deutschen Kolonien III: Ostafrika von Prof. Dr. R. Dove. Mit 16 Taf. u. 1 lithogr. Karte. Nr. 567.
- Österreich.** Österreichische Geschichte von Prof. Dr. Franz v. Krones, neubearb. von Dr. Karl Uhlirz, Prof. a. d. Univ. Graz. I: Von d. Urzeit b. z. Tode König Albrechts II. (1439). Mit 11 Stammtaf. Nr. 104.
- II: Vom Tode König Albrechts II. bis z. Westf. Frieden (1440—1648). Mit 3 Stammtafeln. Nr. 105.
- **Landeskunde v. Österreich-Ungarn** von Dr. Alfred Grund, Prof. an d. Universität Prag. Mit 10 Textillustrationen u. 1 Karte. Nr. 244.
- Ovidius Naso,** Die Metamorphosen des. In Auswahl mit einer Einleit. u. Anmerk. herausgeg. v. Dr. Jul. Biehn in Frankfurt a. M. Nr. 442.
- Pädagogik im Grundriß** von Professor Dr. W. Rein, Direktor d. Pädagog. Seminars a. d. Univ. Jena. Nr. 12.
- **Geschichte der,** von Oberlehrer Dr. S. Weimer in Wiesbaden. Nr. 145.
- Paläogeographie.** Geolog. Geschichte der Meere und Festländer von Dr. Franz Rossinat in Wien. Mit 6 Karten. Nr. 406.
- Paläoklimatologie** von Dr. Wilh. R. Ehardt i. Weilburg (Lahn). Nr. 482.
- Paläontologie** von Dr. Rud. Svernes, Professor an der Universität Graz. Mit 87 Abbildungen. Nr. 95.
- Paläontologie und Abstammungslehre** von Dr. Karl Diener, Prof. an der Univerf. Wien. Mit 9 Abbildungen. Nr. 460.
- Palästina.** Landes- und Volkskunde Palästinas von Lic. Dr. Gustav Hölscher in Halle. Mit 8 Vollbildern und 1 Karte. Nr. 845.
- Parallelperspektive.** Rechtwinklige u. schiefwinklige Axonometrie v. Prof. F. Wunderlin in Münster. Mit 121 Figuren. Nr. 260.
- Personennamen,** Die deutschen, v. Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 422.
- Peru.** Die Cordillereestaaten von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. I: Einleitung, Bolivia und Peru. Mit 16 Tafeln u. 1 lith. Karte. Nr. 652.
- Petrographie** v. Dr. W. Bruhns, Prof. an der Bergakademie Clausthal. Mit 15 Abbildungen. Nr. 173.
- Pflanze,** Die, ihr Bau und ihr Leben von Prof. Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen. Nr. 44.
- von Geh. Hofr. Prof. Dr. Adolf Hansen in Gießen. Mit zahlr. Abb. Nr. 742.
- Pflanzenbaulehre.** Ackerbau- und Pflanzenbaulehre von Dr. Paul Rippert in Essen u. Ernst Langenbed in Groß-Bichterfeld. Nr. 232.
- Pflanzenbiologie** v. Dr. W. Nigula, Professor an d. Forstakademie Eisenach. I: Allgemeine Biologie. Mit 43 Abbildungen. Nr. 127.
- Pflanzenernährung.** Agrilkulturchemie I: Pflanzenernährung v. Dr. Karl Grauer. Nr. 329.
- Pflanzengeographie** v. Prof. Dr. Ludw. Diels in Marburg (Hessen). Nr. 389.
- Pflanzenkrankheiten** von Dr. Werner Friedr. Bruch, Privatdog. i. Gießen. Mit 1 farb. Taf. u. 45 Abb. Nr. 310.
- Pflanzenmorphologie.** Morphologie u. Organographie d. Pflanzen von Prof. Dr. M. Nordhausen in Kiel. Mit 123 Abbildungen. Nr. 141.
- Pflanzenphysiologie** von Dr. Adolf Hansen, Prof. an der Universität Gießen. Mit 43 Abbild. Nr. 591.
- Pflanzenreichs,** Die Stämme des, von Privatdog. Dr. Rob. Pilger, Rustos am Kgl. Botan. Garten in Berlin-Dahlem. Mit 22 Abb. Nr. 485.
- Pflanzenwelt,** Die, der Gewässer von Dr. W. Nigula, Prof. a. d. Forstak. Eisenach. Mit 50 Abb. Nr. 158.
- Pflanzenzellenlehre.** Zellenlehre und Anatomie der Pflanzen von Prof. Dr. S. Wiehe in Leipzig. Mit 79 Abbildungen. Nr. 556.
- Pharmakognosie.** Von Apotheker F. Schmittner, Assst. a. Botan. Institut d. Techn. Hochschule Karlsruhe. Nr. 251.

- Pharmazeutische Chemie** von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. 4 Bändchen. Nr. 543/44, 588, 682.
- Philologie, Geschichte d. Klassischen**, v. Dr. Wilh. Kroll, ord. Prof. a. d. Univ. Münster in Westf. Nr. 367.
- Philosophie, Einführung in die**, von Dr. Max Wentcher, Professor an der Universität Bonn. Nr. 281.
- Philosophie, Geschichte d., IV: Neuere Philosophie bis Kant** von Dr. B. Bauch, Professor an der Universität Jena. Nr. 394.
- V: Immanuel Kant von Dr. Bruno Bauch, Professor an d. Universität Jena. Nr. 536.
- VI: Die Philosophie im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts von Arthur Drews, Prof. der Philosophie an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 571.
- VII: Die Philosophie im zweiten Drittel des 19. Jahrhunderts von Arthur Drews, Prof. der Philosophie an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 709.
- Hauptprobleme der, v. Dr. Georg Simmel, Professor an der Universität Berlin. Nr. 500.
- Psychologie und Logik zur Einf. in d. Philosophie von Prof. Dr. Th. Eschenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.
- Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie** von Professor Dr. Hans Dod in Mähr.-Weiskirchen. Mit 59 Abbildgn. Nr. 699.
- Photographie, Die**. Von G. Kessler, Prof. an d. I. I. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 3 Taf. und 42 Abbild. Nr. 94.
- Physik, Theoretische**, von Dr. Gustav Jäger, Prof. der Physik a. d. Techn. Hochschule i. Wien. I. Teil: Mechanik und Akustik. Mit 24 Abb. Nr. 76.
- II. Teil: Licht u. Wärme. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.
- III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Mit 33 Abt. Nr. 78.
- IV. Teil: Elektromagnet. Lichttheorie und Elektronik. Mit 21 Fig. Nr. 374.
- Physik, Geschichte, der**, von Prof. A. Rüstner in Wertheim a. M. I: Die Physik bis Newton. Mit 13 Fig. Nr. 293.
- Physik, Geschichte, der**, von Prof. A. Rüstner in Wertheim a. M. II: Die Physik von Newton bis z. Gegenwart. Mit 3 Fig. Nr. 294.
- Physikalisch-Chemische Rechenaufgaben** von Prof. Dr. R. Abegg und Privatdozent Dr. D. Sadur, beide an der Univ. Breslau. Nr. 445.
- Physikalische Aufgabensammlung** von G. Mahler, Prof. der Mathematik u. Physik am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.
- Formelsammlung von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit 65 Figuren. Nr. 136.
- Messungsmethoden von Dr. Wilh. Vahrst, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Figuren. Nr. 301.
- Tabellen v. Dr. A. Leid, Oberlehrer an der Comeniuschule zu Berlin-Schöneberg. Nr. 650.
- Physiologische Chemie** von Dr. med. A. Lehmann in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.
- II: Dissimilation. Mit 1 Taf. Nr. 241.
- Physische Geographie** von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule in München. Mit 37 Abbildungen. Nr. 26.
- Physische Meereskunde** von Prof. Dr. Gerh. Schott, Abteilungs-vorst. b. d. Deutsch. Seewarte in Hamburg. Nr. 39 Abb. im Text u. 8 Taf. Nr. 112.
- Pilze, Die**. Eine Einführung in die Kenntniss ihrer Formenreihen von Prof. Dr. G. Lindau in Berlin. Mit 10 Figurengruppen i. Text. Nr. 574.
- Pionierdienst, Der**, von Major Reichardt, Bataillonskommandant im Infant.-Regmt. „Kronprinz“ (Nr. 104) in Chemnitz. Mit 160 Abb. Nr. 790.
- Planetenystem. Astronomie** (Größe, Bewegung u. Entfernung d. Himmelskörper) von A. F. Möbius, neu bearb. von Dr. Herm. Robold, Prof. a. d. Univ. Kiel. I: Das Planetenystem. Mit 33 Abbild. Nr. 11.
- Plankton, Das, des Meeres** von Dr. G. Stiasny in Wien. Mit 83 Abbildungen. Nr. 675.
- Plastik, Die, des Abendlandes** von Dr. Hans Stegmann, Direktor des Bayer. Nationalmuseums in München. Mit 23 Tafeln. Nr. 116.

- Plastik, Die, seit Beginn des 19. Jahrhunderts** von A. Heilmeyer in München. Mit 41 Vollbildern. Nr. 321.
- Plattdeutsche Mundarten** von Dr. Hub. Grimme, Professor an der Universität Münster i. W. Nr. 461.
- Poetik, Deutsche, v. Dr. K. Borinski**, Prof. a. d. Univ. München. Nr. 40.
- Polarlicht. Erdmagnetismus, Erdstrom u. Polarlicht** von Dr. A. Nippoldt, Mitglied des Kgl. Preuß. Meteorolog. Instituts zu Potsdam. Mit 7 Taf. u. 16 Figuren. Nr. 175.
- Polnische Geschichte** von Dr. Clemens Brandenburger in Posen. Nr. 338.
- Pommern. Landeskunde** von Pommeren von Dr. W. Deede, Prof. an der Universität Freiburg i. B. Mit 10 Abb. und Karten im Text und 1 Karte in Lithographie. Nr. 575.
- Portugiesische Geschichte** v. Dr. Gustav Diercks in Berlin-Steglitz. Nr. 622.
- Portugiesische Literaturgeschichte** von Dr. Karl von Reinhardtstoetner, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule München. Nr. 213.
- Posamentiererei Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** v. Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Fig. Nr. 185.
- Postrecht** von Dr. Alfred Wolde, Postinspektor in Bonn. Nr. 425.
- Preßluftwerkzeuge, Die, von Dipl.-Ing. P. Itz**, Oberlehrer an der Kgl. Techn. Schule in Straßburg. Mit 82 Figuren. Nr. 493.
- Preussische Geschichte. Brandenburgisch-Preussische Geschichte** v. Prof. Dr. M. Thamm, Direktor d. Kaiser Wilhelms-Gymnasiums in Montaubaur. Nr. 600.
- Preussisches Staatsrecht** von Dr. Fritz Stier-Somlo, Prof. an der Univ. Bonn. 2 Teile. Nr. 298, 299.
- Psychiatrie, Forensische, von Professor Dr. W. Weygandt**, Dir. der Irrenanstalt Friedrichsberg in Hamburg. 2 Bändchen. Nr. 410 und 411.
- Psychologie und Logik zur Einführung** in d. Philosophie v. Prof. Dr. Th. Eisenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.
- Psychophysik, Grundriß** der, v. Prof. Dr. G. F. Lipps in Zürich. Mit 3 Figuren. Nr. 98.
- Pumpen, Druckwasser- und Druckluft-Anlagen.** Ein kurzer Überblick von Dipl.-Ing. Rudolf Bogdt, Regierungsbaumeister a. D. in Aachen. Mit 87 Abbildungen. Nr. 290.
- Quellenkunde d. deutschen Geschichte** von Dr. Carl Jacob, Prof. an der Universität Tübingen. 1. Band. Nr. 279.
- Radioaktivität** von Dipl.-Ing. Wilh. Frommel. Mit 21 Abb. Nr. 317.
- Rechnen, Das, in der Technik** u. seine Hilfsmittel (Rechenchieber, Rechentafeln, Rechenmaschinen usw.) von Ing. Joh. Eug. Mayer in Freiburg i. Br. Mit 30 Abbild. Nr. 405.
- **Kaufmännisches**, von Professor Richard Just, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139, 140, 137.
- Recht des Bürgerlichen Gesetzbuchs.** Erstes Buch: Allg. Teil. I: Einleitung — Lehre v. d. Personen u. v. d. Sachen v. Dr. P. Dertmann, Prof. a. d. Univ. Erlangen. Nr. 447.
- II: Erwerb u. Verlust, Geltendmachung u. Schutz der Rechte von Dr. Paul Dertmann, Professor an der Universität Erlangen. Nr. 448.
- **Zweites Buch: Schuldrecht. I. Abtheilung: Allgemeine Lehren** von Dr. Paul Dertmann, Professor an der Universität Erlangen. Nr. 323.
- II Abt.: Die einzelnen Schuldverhältnisse v. Dr. Paul Dertmann, Prof. an der Universität Erlangen. Nr. 324.
- **Drittes Buch: Sachenrecht** von Dr. F. Krehshmar, Oberlandesgerichtsrat in Dresden. I: Allgem. Lehren. Besitz und Eigentum. Nr. 480.
- II: Begrenzte Rechte. Nr. 481.
- **Viertes Buch: Familienrecht** von Dr. Heinrich Tike, Professor an der Universität Göttingen. Nr. 305.
- **Fünftes Buch: Erbrecht** von Dr. Wilhelm von Blume, ord. Prof. der Rechte an der Universität Tübingen. I. Abtheilung: Einleitung. — Die Grundlagen des Erbrechts. Nr. 659.
- II. Abtheilung: Die Nachlassbetheiligten. Mit 23 Figuren. Nr. 660.

- Recht der Versicherungsunternehmungen**, Das, von Regierungsrat a. D. Dr. jur. R. Leibl, erstem Direktor der Nürnberger Lebensversicherungsbank, früher Mitglied des Kaiserlichen Aufsichtsamts für Privatversicherung. Nr. 635.
- Rechtsschutz**, Der internationale gewerbliche, von J. Neuberger, Kaiserl. Regierungsrat, Mitglied d. Kaiserl. Patentamts zu Berlin. Nr. 271.
- Rechtswissenschaft, Einführung in die**, von Dr. Theodor Sternberg in Berlin. I: Methoden- und Quellenlehre. Nr. 169.  
— II: Das System. Nr. 170.
- Redelehre**, Deutsche, v. Hans Probst, Gymnasialprof. in Bamberg. Nr. 61.
- Redeschrift** siehe: Stenographie.
- Reichsfinanzen**, Die Einführung der, von Präsident Dr. R. van der Borcht in Berlin. Nr. 427.
- Religion**, Die Entwicklung der christlichen, innerhalb des Neuen Testaments von Professor Dr. Lic. Carl Clemen. Nr. 388.
- Religion**, Die, des Judentums im Zeitalter des Hellenismus u. der Römerherrschaft von Lic. Dr. W. Staerk (Neutestamentliche Zeitgeschichte II.) Mit einer Planstizze. Nr. 326.
- Religionen der Naturvölker**, Die, von Dr. Th. Achelis, Professor in Bremen. Nr. 449.
- Religionswissenschaft**, Abriss der vergleichenden, von Professor Dr. Th. Achelis in Bremen. Nr. 208.
- Renaissance**. Die Kultur der Renaissance. Gesittung, Forschung, Dichtung v. Dr. Robert F. Arnold, Prof. an der Universität Wien. Nr. 189.
- Reptilien**. Das Tierreich III: Reptilien und Amphibien. Von Dr. Franz Werner, Prof. a. d. Univers. Wien. Mit 48 Abb. Nr. 383.
- Rheinprovinz**, Landeskunde der, von Dr. B. Steinede, Direktor d. Realgymnasiums in Essen. Mit 9 Abb., 3 Karten und 1 Karte. Nr. 308.
- Riechstoffe**. Atherische Ole und Riechstoffe von Dr. F. Rochussen in Miltig. Mit 9 Abb. Nr. 446.
- Roman**. Geschichte des deutschen Romans von Dr. Hellm. Mielle. Nr. 229.
- Romanische Sprachwissenschaft** von Dr. Adolf Zauner, Prof. a. d. Univ. Graz. 2 Bände. Nr. 128, 250.
- Römische Altertumskunde** von Dr. Leo Bloch in Wien. Mit 8 Vollsildern. Nr. 45.
- Römische Geschichte** von Realgymnasial-Direktor Dr. Jul. Koch in Grunewald. 2 Bdn. (I: Königszeit und Republik. II: Die Kaiserzeit bis zum Untergang des Weströmischen Reiches.) Nr. 19 u. 677.
- Römische Literaturgeschichte** von Dr. Herm. Joachim in Hamburg. Nr. 52.
- Römische und griechische Mythologie** von Professor Dr. Hermann Steuding, Rektor des Gymnasiums in Schneeberg. Nr. 27.
- Römische Rechtsgeschichte** von Dr. Robert von Mayr, Prof. an der Deutschen Univer. Prag. 1. Buch: Die Zeit d. Vollsrechtes. 1. Hälfte: Das öffentliche Recht. Nr. 577.  
— 2. Hälfte: Das Privatrecht. Nr. 578.  
— 2. Buch: Die Zeit des Amts- und Verlehrsrechtes. 1. Hälfte: Das öffentliche Recht. Nr. 645.  
— 2. Hälfte: Das Privatrecht I. Nr. 646.  
— 2. Hälfte: Das Privatrecht II. Nr. 647.  
— 3. Buch: Die Zeit des Reichs- und Vollsrechtes. Nr. 648.  
— 4. Buch: Die Zeit der Orientalisierung des römischen Rechtes. Nr. 697.
- Rußland**. Russische Geschichte von Prof. Dr. W. Reeb, Oberlehrer am Neuen Gymnasium in Mainz. Nr. 4.  
— Landeskunde des Europäischen Rußlands nebst Finnlands von Professor Dr. A. Philippson in Halle a. S. Nr. 359.
- Russisch-deutsches Gesprächsbuch** von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität München. Nr. 68.
- Russische Grammatik** von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität München. Nr. 66.
- Russische Handelskorrespondenz** von Dr. Theodor von Kawrabsky in Leipzig. Nr. 315.
- Russisches Lesebuch mit Glossar** von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität München. Nr. 67.

- Russische Literatur** von Dr. Erich Boehme, Lektor a. d. Handelshochschule Berlin. I. Teil: Auswahl moderner Prosa u. Poesie mit ausführlichen Anmerkungen u. Akzentbezeichnung. Nr. 403.
- II. Teil: Всеволодъ Гаршинъ, Разказы. Mit Anmerkungen und Akzentbezeichnungen. Nr. 404.
- Russische Literaturgeschichte** von Dr. Georg Polonskij in München. Nr. 166.
- Russisches Vokabelbuch, Kleines**, von Dr. Erich Boehme, Lektor an der Handelshochschule Berlin. Nr. 475.
- Russisches Wörterbuch, Deutsch-russisches kaufmännisches Wörterbuch** von Michael Kulhánel in Dresden. Nr. 717.
- Ruthenische Grammatik** von Dr. Stephan von Smal-Stochj, o. ö. Prof. an d. Univ. Czernowitz. Nr. 680.
- Ruthenisch-deutsches Gesprächsbuch** von Dr. Stephan von Smal-Stochj, o. ö. Prof. an d. Univ. Czernowitz. Nr. 681.
- Sachenrecht, Recht d. Bürgerl. Gesetzbuches. Drittes Buch: Sachenrecht** von Dr. F. Krehshmar, Oberlandesgerichtsrat i. Dresden. I: Allgemeine Lehren. Besitz u. Eigentum. — II: Begrenzte Rechte. Nr. 480, 481.
- Sachs, Hans.** Ausgewählt u. erläutert. v. Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 24.
- Sachsen. Sächsische Geschichte** v. Prof. Otto Raemmel, Rektor d. Nikolai-Gymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.
- **Landeskunde des Königreichs Sachsen** v. Dr. F. Zemmrich, Oberlehrer am Realgymnas. in Plauen. Mit 12 Abb. u. 1 Karte. Nr. 258.
- Säugetiere. Das Tierreich I: Säugetiere** von Oberstudienrat Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorsteher des Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart. Mit 15 Abbildungen. Nr. 282.
- Schaltapparate** siehe: Elektrische Schaltapparate.
- Schattenkonstruktionen** von Professor F. Wunderlin in Münster. Mit 114 Figuren. Nr. 236.
- Schleswig-Holstein, Landeskunde von Schleswig-Holstein, Helgoland u. der freien und Hansestadt Hamburg** von Dr. Paul Hambruch, Abteilungsleiter am Museum für Völkertunde in Hamburg. Mit Abb., Plänen, Profilen und 1 Karte in Lithographie. Nr. 563.
- Schiffs- und Küstenartillerie bis zur Gegenwart, Die Entwicklung der, von Korvettenkapitän Hünig.** Mit Abbild. und Tabellen. Nr. 606.
- Schleusenbau, Kanal- u. Schleusenbau** von Regierungsbaumeister Otto Rappold in Stuttgart. Mit 78 Abbildungen. Nr. 585.
- Schmalspurbahnen (Klein-, Arbeits- u. Feldbahnen)** v. Dipl.-Ing. Aug. Boshart in Nürnberg. Mit 99 Abbildungen. Nr. 524.
- Schmaroker und Schmarokertum in der Tierwelt. Erste Einführung in die tierische Schmarokerkunde** von Dr. Franz v. Wagner, a. o. Prof. a. d. Univ. Graz. Mit 67 Abb. Nr. 151.
- Schreiner-Arbeiten. Tischler- (Schreiner-) Arbeiten I: Materialien, Handwerkzeuge, Maschinen, Einzelverbindungen, Fußböden, Fenster, Fensterladen, Treppen, Aborte** von Prof. E. Biehweger, Architekt in Köln. Mit 628 Fig. auf 75 Tafeln. Nr. 502.
- Schuldrecht, Recht des Bürgerl. Gesetzbuches. Zweites Buch: Schuldrecht. I. Abteilung: Allgemeine Lehren** von Dr. Paul Dertmann. Prof. a. d. Univ. Erlangen. Nr. 323.
- II. Abteilung: Die einzelnen Schuldverhältnisse von Dr. Paul Dertmann, Professor a. d. Universität Erlangen. Nr. 324.
- Schule, die deutsche, im Auslande** von Hans Amrhein, Seminar-Oberlehrer in Rheydt. Nr. 259.
- Schulhaus. Die Baukunst des Schulhauses** von Prof. Dr.-Ing. Ernst Bettelein in Darmstadt. I: Das Schulhaus. Mit 38 Abbild. II: Die Schulräume — Die Nebenanlagen. Mit 31 Abbild. Nr. 443 und 444.
- Schulpraxis. Methodik der Volksschule** von Dr. R. Seyfert, Seminarlehrer in Bschopau. Nr. 50.
- Schweiß- und Schneidverfahren, Das autogene**, von Ingenieur Hans Niese in Kiel. Mit 30 Fig. Nr. 499.
- Schweiz. Schweizerische Geschichte** von Dr. A. Dändliker, Professor an der Universität Zürich. Nr. 188.
- **Landeskunde der Schweiz** von Prof. Dr. S. Wasser in Bern. Mit 16 Abb. und 1 Karte. Nr. 398.

- Schwimmanstalten.** Öffentl. Bade- und Schwimmanstalten von Dr. Karl Wolff, Stadt-Oberbaurat in Hannover. Mit 50 Fig. Nr. 380.
- Seemacht, Die, in der deutschen Geschichte von Wirkl. Admiralitätsrat Dr. Ernst von Halle, Professor an der Universität Berlin.** Nr. 370.
- Seerecht, Das deutsche, von Dr. Otto Brandis, Oberlandesgerichtsrat in Hamburg. I: Allgemeine Lehren: Personen und Sachen des Seerechts.** Nr. 386.
- II: Die einzelnen seerechtlichen Schuldverhältnisse: Verträge des Seerechts und außervertragliche Haftung. Nr. 387.
- Seifenfabrikation, Die, die Seifenanalyse und d. Kerzenfabrikation v. Dr. Karl Braun in Berlin. (Die Fette u. Ole II.)** Mit 25 Abbildgn. Nr. 336.
- Semitische Sprachwissenschaft** von Dr. C. Brodelmann, Professor an der Univerf. Königsberg. Nr. 291.
- Serbokroatische Grammatik** von Dr. Vladimir Corovic, Bibliothekar des bošn.-herzegow. Landesmuseums in Sarajevo (Bosnien). Nr. 638.
- Serbokroatisches Lesebuch mit Glossar** von Dr. Vladimir Corovic, Bibliothekar des bošn.-herzegow. Landesmuseums i. Sarajevo (Bosn.). Nr. 639.
- Serbokroatisch-deutsches Gesprächsbuch** von Dr. Vladimir Corovic, Bibliothekar des bošn.-herzegow. Landesmuseums i. Sarajevo (Bosn.). Nr. 640.
- Silikate. Industrie der Silikate, der künstlichen Bausteine und des Mörtels** von Dr. Gustav Rauter in Charlottenburg. I: Glas u. keramische Industrie. W. 12 Taf. Nr. 233.
- II: Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels. Mit 12 Tafeln. Nr. 234.
- Simplicius Simplicissimus** von Hans Jakob Christoffel v. Grimmelshausen. In Auswahl herausgeg. von Prof. Dr. F. Bobertag, Dozent an der Universität Breslau. Nr. 138.
- Skandinavien, Landeskunde von, (Schweden, Norwegen u. Dänemark)** von Heinrich Kerp, Kreis-schulinspektor in Kreuzburg. Mit 11 Abb. und 1 Karte. Nr. 202.
- Slavische Literaturgeschichte v. Dr. F. Karáfel in Wien. I: Ältere Literat. bis zur Wiedergeburt.** Nr. 277.
- II: Das 19. Jahrh. Nr. 278.
- Soziale Frage, Die Entwicklung der sozialen Frage von Professor Dr. Ferdin. Tönnies.** Nr. 353.
- Sozialversicherung** von Prof. Dr. Alfred Manes in Berlin. Nr. 267.
- Soziologie** von Prof. Dr. Thomas Ahelis in Bremen. Nr. 101.
- Spalt- und Schleimpilze.** Eine Einführung in ihre Kenntnis von Prof. Dr. Gustav Lindau, Rustos am Kgl. Botanischen Museum und Privatdozent der Botanik an der Univ. Berlin. Mit 11 Abb. Nr. 642.
- Spanien. Spanische Geschichte** von Dr. Gustav Diercks. Nr. 266.
- Landeskunde der Iberischen Halbinsel v. Dr. Fritz Regel, Prof. an der Univ. Würzburg. Mit 8 Kartchen und 8 Abbild. im Text und 1 Karte in Farbendruck. Nr. 235.
- Spanische Handelskorrespondenz** von Dr. Alfredo Nabal de Mariezcurrena. Nr. 295.
- Spanische Literaturgeschichte v. Dr. Rud. Beer, Wien. I. II.** Nr. 167, 168.
- Speicher, Industrielle und gewerbliche Bauten (Speicher, Lagerhäuser u. Fabriken) v. Architekt Heinr. Salzmann in Düsseldorf. II: Speicher u. Lagerhäuser.** Mit 123 Fig. Nr. 512.
- Spinnerei. Textilindustrie I: Spinnerei und Zwirnerei** von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Königl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 39 Figuren. Nr. 184.
- Spitzenfabrikation. Textilindustrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikat. u. Filzfabrikation** von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Fig. Nr. 185.
- Sportanlagen** von Dr. phil. u. Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmstadt. I. Mit 78 Abbildungen. Nr. 684.
- Spruchdichtung. Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung.** Mit Anmerkgn. u. einem Wörterbuch v. Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule u. an der Technischen Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.

- Staatslehre, Allgemeine, von Dr. Hermann Rehm, Prof. a. d. Universität Straßburg i. E. Nr. 358.**
- Staatsrecht, Allgemeines, von Dr. Julius Hatschel, Prof. d. Rechte an der Universität Göttingen. 3 Bändchen. Nr. 415—417.**
- Staatsrecht, Preussisches, von Dr. Fritz Stier-Somlo, Prof. a. d. Universität Bonn. 2 Teile. Nr. 298, 299.**
- Stadtstraßenbau von Dr. Ing. Georg Klose in Berlin. Mit 50 Abb., Nr. 740.**
- Stammesunde, Deutsche, von Dr. Rudolf Much, a. o. Prof. a. d. Univ. Wien. M. 2 Kart. u. 2 Taf. Nr. 126.**
- Statik von W. Hauber, Dipl.-Ing. 1. Teil: Die Grundlehren der Statik fester Körper. Mit 82 Fig. Nr. 178.**
- II. Teil: Angewandte Statik. Mit 61 Figuren. Nr. 179.
- Graphische, mit besond. Berücksichtigung der Einflußlinien von Kgl. Oberlehrer Dipl.-Ing. Otto Henkel in Rendsburg. 2 Teile. Mit 207 Fig. Nr. 603, 695.
- Steinhauerarbeiten, Maurer- und Steinhauerarbeiten von Prof. Dr. phil. und Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmstadt. 3 Bändchen. Mit vielen Abbildungen. Nr. 419—421.**
- Stellwerke. Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen von E. Scheibner, Kgl. Oberbaurat a. D. in Berlin. 2 Bändchen. Mit 72 Abbild. Nr. 689/90.**
- Die mechanischen Stellwerke der Eisenbahnen von E. Scheibner, Kgl. Oberbaurat a. D. in Berlin. 2 Bändchen. Mit 79 Abbild. Nr. 674 u. 688.
- Stenographie. Geschichte der Stenographie von Dr. Arthur Menz in Königsberg i. Pr. Nr. 501.**
- Stenographie u. d. System v. F. X. Gabelberger von Dr. Albert Schramm, Museumsdirektor in Leipzig. Nr. 246.**
- Die Kedeſchrift des Gabelbergerſchen Systems von Dr. Albert Schramm, Museumsdirektor in Leipzig. Nr. 368.
- Stenographie. Lehrbuch d. Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einig.-System Stolze-Schrey) nebst Schlüssel, Leseſtücken u. einem Anhang von Professor Dr. Amsel, Oberlehrer des Kadettenkorps in Lichtenfelde. Nr. 86.**
- Stenographie. Kedeſchrift. Lehrbuch d. Kedeſchrift d. Syst. Stolze-Schrey nebst Kürzungsbeisp., Leseſtücken, Schlüssel und einer Anleitung zur Steigerung der stenographischen Fertigkeit von Heinrich Dröſe, amtl. bad. Landtagsſtenograph in Karlsruhe (B.). Nr. 494.**
- Stereochemie von Dr. E. Bedekind. Prof. an der Universität Tübingen. Mit 34 Abbildungen. Nr. 201.**
- Stereometrie von Dr. R. Glaſer in Stuttgart. Mit 66 Figuren. Nr. 97.**
- Sternsystem. Astronomie. Größe, Bewegung u. Entfernung d. Himmelskörper v. A. F. Möbius, neu bearb. v. Dr. Herm. Kobold, Prof. a. d. Univerſ. Kiel. II: Kometen, Meteore u. das Sternsystem. Mit 15 Fig. u. 2 Sternkarten. Nr. 529.**
- Steuersysteme des Auslandes, Die, v. Geh. Oberfinanzrat D. Schwarz in Berlin. Nr. 426.**
- Stilkunde v. Prof. Karl Otto Hartmann in Stuttgart. Mit 7 Vollbild. u. 195 Textillustrationen. Nr. 80.**
- Stöchiometrische Aufgabensammlung von Dr. Wilh. Bahrst, Oberl. an d. Oberrealschule in Groß-Lichtenfelde. Mit den Resultaten. Nr. 452.**
- Straßenbahnen von Dipl.-Ing. Aug. Voßhart in Nürnberg. Mit 72 Abbildungen. Nr. 559.**
- Strategie von Köſſler, Major im Kgl. Sächſ. Kriegsmin. i. Dresd. Nr. 505.**
- Ströme und Spannungen in Starkstromnetzen v. Jos. Herzog, Dipl.-Elektroing. in Budapest u. Clarence Feldmann, Prof. d. Elektotechnik in Delft. Mit 68 Abb. Nr. 456.**
- Südamerika. Geschichte Südamerikas von Dr. Hermann Luſt. I: Das spanische Südamerika (Chile, Argentinien und die kleineren Staaten). Nr. 632.**
- II: Das portugieſiſche Südamerika (Brasilien). Nr. 672.
- Südſeegebiet. Die deutschen Kolonien II: Das Südſeegebiet und Kiautschow v. Prof. Dr. R. Dove. M. 16 Taf. u. 1 lith. Karte. Nr. 520.**
- Talmud. Die Entſtehung des Talmuds von Dr. S. Funf in Boſtow. Nr. 479.**
- Talmudproben von Dr. S. Funf in Boſtow. Nr. 583.**

- Technisch-Chemische Analyse** von Dr. G. Lunge, Prof. a. d. Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbildungen. Nr. 195.
- Technisch-chemische Rechnungen** v. Chem. H. Deegener. Mit 4 Fig. Nr. 701.
- Technische Tabellen und Formeln** von Dr.-Ing. W. Müller, Dipl.-Ing. am Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde. Mit 106 Figuren. Nr. 579.
- Technisches Wörterbuch**, enthaltend die wichtigsten Ausdrücke d. Maschinenbaues, Schiffbaues u. d. Elektrotechnik von Erich Krebs in Berlin.  
I. Teil: Dtsch.-Engl. Nr. 395.  
— II. Teil: Engl.-Dtsch. Nr. 396.  
— III. Teil: Dtsch.-Franz. Nr. 453.  
— IV. Teil: Franz.-Dtsch. Nr. 454.
- Technologie, Allg.chemisch.** v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.
- **Mechanische**, v. Geh. Hofrat Prof. A. Lübbe in Braunschweig. 2 Bde. Nr. 340, 341.
- Teerfarbstoffe**, Die, mit bes. Berücksichtigung der synthetisch. Methoden v. Dr. Hans Bucherer, Prof. a. d. Kgl. Techn. Hochschule, Dresd. Nr. 214.
- Telegraphenrecht** v. Postinspektor Dr. jur. Alfred Wolke in Bonn. I: Einleitung. Geschichtliche Entwicklung. Die Stellung d. deutsch. Telegraphenwesens im öffentl. Rechte, allgemeiner Teil. Nr. 509.  
— II: Die Stellung d. deutsch. Telegraphenwesens im öffentl. Rechte, besonderer Teil. Das Telegraphen-Strafrecht. Rechtsverhältnis d. Telegraphie z. Publikum. Nr. 510.
- Telegraphie**, Die elektrische, v. Dr. Lud. Kellstab. Mit 19 Fig. Nr. 172.
- Testament. Die Entstehung des Alten Testaments** v. Lic. Dr. W. Staerl, Prof. a. d. Univ. Jena. Nr. 272.  
— **Die Entstehung des Neuen Testaments** v. Prof. Lic. Dr. Carl Clemen in Bonn. Nr. 285.
- Textilindustrie. I: Spinnerei und Zwirnerei** v. Prof. Max Gürtler, Geh. Reg.-Rat im Kgl. Landesgewerbeamt, Berlin. Nr. 9 Fig. Nr. 184.  
— **II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** v. Prof. M. Gürtler, Geh. Regierungsrat i. Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Nr. 29 Fig. Nr. 185.
- Textilindustrie. III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** v. Dr. Wilh. Massot, Prof. a. d. Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie i. Krefeld. Nr. 28 Fig. Nr. 186.
- Textiltechnische Untersuchungsmethoden** von Dr. Wilhelm Massot, Professor an der Färberei- u. Appreturschule Krefeld. I: Die Mikroskopie der Textilmaterialien. Mit 92 Figuren. Nr. 678.
- Thermodynamik (Technische Wärmelehre)** v. R. Walther u. M. Röttlinger, Dipl.-Ing. Nr. 54 Fig. Nr. 242.
- Thermodynamik (Technische Wärmelehre). Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- und Kältemaschinen** von M. Röttlinger, Dipl.-Ing. in Mannheim. Nr. 2.
- Thüringische Geschichte** v. Dr. Ernst Devrient in Leipzig. Nr. 352.
- Tierbiologie. Abriss der Biologie der Tiere** v. Dr. Heinrich Simroth, Prof. a. d. Univ. Leipzig. I: Entstehung u. Weiterbildung der Tierwelt. — Beziehungen zur organ. Natur. Mit 34 Abbild. Nr. 131.  
— II: Beziehungen der Tiere zur organischen Natur. Mit 35 Abbild. Nr. 654.
- Tiere, Entwicklungsgeschichte der**, von Dr. Johs. Reiffenheimer, Prof. der Zoologie a. d. Universität Jena. I: Furchung, Primitivanlagen, Larven, Formbildung, Embryonalhüllen. Mit 48 Fig. Nr. 378.  
— II: Organbildung. Mit 46 Figuren. Nr. 379.
- Tiergeographie** v. Dr. Arnold Jacobi, Professor der Zoologie a. d. Kgl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 2 Karten. Nr. 218.
- Tierkunde** von Dr. Franz v. Wagner, Prof. a. d. Universität Graz. Mit 78 Abbildungen. Nr. 60.
- Tierreich, Das, I: Säugetiere** v. Oberstudient. Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorst. d. Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart. Nr. 15 Abb. Nr. 282.  
— **III: Reptilien und Amphibien** von Dr. Franz Berner, Prof. a. d. Univ. Wien. Mit 48 Abb. Nr. 383.  
— **IV: Fische** von Prof. Dr. Max Rauter in Neapel. Nr. 356.  
— **V: Insekten** von Dr. F. Groß in Neapel (Stazione Zoologica). Mit 56 Abbildungen. Nr. 594.

- Tierreich, Das, VI: Die wirbellosen Tiere** von Dr. Ludw. Böhmig. Prof. d. Zool. a. d. Univ. Graz I: Urtiere, Schwämme, Nesseltiere, Rippenquallen und Würmer. Mit 74 Fig. Nr. 439.
- II: Krebse, Spinnentiere, Tausendfüßer, Weichtiere, Moostiere, Armfüßer, Stachelhäuter und Manteltiere. Nr. 97 Fig. Nr. 440.
- Tierzuchtlehre, Allgemeine und spezielle**, von Dr. Paul Rippert in Essen. Nr. 228.
- Tischler- (Schreiner-) Arbeiten I: Materialien, Handwerkzeuge, Maschinen, Einzelverbindungen, Fußböden, Fenster, Fensterladen, Treppen, Aborte** von Prof. E. Viehweger, Architekt in Köln. Mit 628 Figuren auf 75 Tafeln. Nr. 502.
- Togo. Die deutschen Kolonien I: Logo und Kamerun** von Prof. Dr. Karl Dove. Mit 16 Tafeln und einer lithographischen Karte. Nr. 441.
- Toxikologische Chemie** von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. Mit 6 Abbildungen. Nr. 465.
- Trigonometrie, Ebene und sphärische**, von Prof. Dr. Gerh. Hessenberg in Breslau. Mit 70 Fig. Nr. 99.
- Tropenhygiene v. Medizinalrat Prof. Dr. Kocht, Direktor des Instituts für Schiffs- und Tropenkrankheiten in Hamburg.** Nr. 369.
- Trust. Kartell und Trust** von Dr. C. Tschierschky in Düsseldorf. Nr. 522.
- Tschechisch-deutsches Gesprächsbuch** v. Dr. Emil Smetánka, ao. Prof. an der böhm. Univ. Prag. Nr. 722.
- Tschechische Grammatik** von Dr. Emil Smetánka, ao. Prof. an der böhm. Univ. Prag. Nr. 721.
- Tschechisches Lesebuch mit Glossar** von Dr. Emil Smetánka, ao. Prof. an der böhm. Univ. Prag. Nr. 723.
- Turnen, Das deutsche**, v. Dr. Rudolf Gasch, Prof. a. König Georg-Gymn. in Dresden. Mit 87 Abb. Nr. 628.
- Turnkunst, Geschichte der**, von Dr. Rudolf Gasch, Prof. a. König Georg-Gymnasium in Dresden. Mit 17 Abbildungen. Nr. 504.
- Ungarn. Landeskunde von Österreich-Ungarn** von Dr. Alfred Grund, Prof. an der Universität Prag. Mit 10 Textillustr. u. 1 Karte. Nr. 244.
- Ungarisch-deutsches Gesprächsbuch** von Dr. Wilhelm Tolnai, Prof. an der staatlich. Bürgerschullehrerinnen-Bildungsanst. in Budapest. Nr. 739.
- Ungarische Literatur, Geschichte der**, von Prof. Dr. Ludwig Katona und Dr. Franz Szinnyei, beide an der Universität Budapest. Nr. 550.
- Ungarische Sprachlehre** v. Dr. Josef Szinnyei, o. ö. Prof. an der Universität Budapest. Nr. 595.
- Ungarisches Lesebuch mit Glossar** von Dr. Wilhelm Tolnai, Professor an der staatlichen Bürgerschullehrerinnen-Bildungsanstalt in Budapest. Nr. 694.
- Unterrichtswesen. Geschichte d. deutschen Unterrichtswesens** von Prof. Dr. Friedrich Seiler, Direktor des Kgl. Gymnasiums zu Ludau. I. Teil: Von Anfang an bis zum Ende d. 18. Jahrh. Nr. 275.
- II. Teil: Vom Beginn des 19. Jahrhunderts bis auf die Gegenwart. Nr. 276.
- Das höhere und mittlere Unterrichtswesen in Deutschland von Schulrat Prof. Dr. Jakob Wycheram in Lübeck. Nr. 644.
- Untersuchungsmethoden; Agrilkulturchemische**, von Professor Dr. Emil Haselhoff, Vorsteher der landwirtschaftlichen Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 470.
- Urgeschichte der Menschheit** von Dr. Moriz Hoernes, Professor an der Univ. Wien. Mit 85 Abb. Nr. 42.
- Urheberrecht, Das**, an Werken der Literatur und der Tonkunst, das Verlagsrecht und das Urheberrecht an Werken d. bildenden Künste u. Photographie v. Staatsanw. Dr. J. Schlittgen in Chemnitz. Nr. 361.
- Urheberrecht, Das deutsche**, an literarischen, künstlerischen u. gewerbl. Schöpfungen, mit besonderer Berücksichtigung der internationalen Verträge von Dr. Gustav Rauter, Patentanwalt in Charlottenburg. Nr. 263.
- Urzeit. Kultur der Urzeit** von Dr. Moriz Hoernes, o. ö. Prof. an der Univ. Wien. 3 Bändch. I: Steinzeit. Mit 40 Bildergrupp. Nr. 564.
- II: Bronzezeit. Mit 36 Bildergruppen. Nr. 565.
- III: Eisenzeit. Mit 35 Bildergruppen. Nr. 566.

- Vektoranalyse** von Dr. Siegf. Valentiner, Prof. an der Bergakademie in Clausthal. Mit 16 Fig. Nr. 354.
- Venezuela. Die Cordillerenstaaten** von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. II: Ecuador, Colombia u. Venezuela. Mit 16 Taf. u. 1 lithogr. Karte. Nr. 653.
- Veranschlagung, Das, im Hochbau.** Kurzgefaßtes Handbuch üb. d. Wesen d. Kostenanschlags v. Architekt Emil Bentinger, Assistent an der Technischen Hochschule in Darmstadt. Mit vielen Fig. Nr. 385.
- Vereinigte Staaten. Landeskunde der Vereinigten Staaten von Nordamerika** von Professor Heinrich Fischer, Oberlehrer am Luisenstädt. Realgymnasium in Berlin. I. Teil: Mit 22 Karten und Figuren im Text und 14 Tafeln. Nr. 381.
- II. Teil: Mit 3 Karten im Text, 17 Tafeln u. 1 lith. Karte. Nr. 382.
- Vergil. Die Gedichte des P. Vergilius Maro.** In Auswahl mit einer Einleitung u. Anmerkungen herausgeg. von Dr. Julius Ziehen. I: Einleitung und Aeneis. Nr. 497.
- Vermessungskunde** von Dipl.-Ing. B. Wertmeister, Oberlehrer an der Kais. Techn. Schule in Straßburg i. E. I: Feldmessen und Nivelieren. Mit 146 Abb. Nr. 468.
- II: Der Theodolit. Trigonometrische u. barometr. Höhenmessung. Tachymetrie. Mit 109 Abbildungen. Nr. 469.
- Versicherungsmathematik** von Dr. Alfred Loewy, Professor an der Universität Freiburg i. B. Nr. 180.
- Versicherungswesen, Das,** von Dr. iur. Paul Moldenhauer, Professor der Versicherungswissenschaft an der Handelshochschule Köln. I: Allgemeine Versicherungslehre. Nr. 262.
- II: Die einzelnen Versicherungsweige. Nr. 636.
- Versicherungswesen, Technik des,** von Dr. Hans Hilbert in Berlin. Nr. 741.
- Völkerkunde v. Dr. Michael Haberlandt, f. u. l. Rustos d. ethnogr.** Sammlung d. naturhist. Hofmuseums u. Privatbozent a. d. Univ. Wien. Mit 56 Abbild. Nr. 73.
- Völkernamen. Länder- u. Völkernamen** von Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig. Nr. 478.
- Vollsbibliotheken** (Bücher- u. Lesehallen), ihre Einrichtung u. Verwaltung v. Emil Jaeschke, Stadtbibliothekar in Elberfeld. Nr. 332.
- Vollslieb, Das deutsche,** ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. 2 Bändchen. Nr. 25, 132.
- Volkswirtschaftslehre** von Dr. Carl Johs. Fuchs, Professor an der Universität Tübingen. Nr. 133.
- Volkswirtschaftspolitik v. Präsident Dr. R. van d. Borgh, Berlin** Nr. 177.
- Waffen, Die blanken, und die Schusswaffen,** ihre Entwicklung von der Zeit der Landsknechte bis zur Gegenwart m. besonderer Berücksichtigung der Waffen in Deutschland, Österreich-Ungarn und Frankreich von W. Gohlse, Feuerwerks-Major a. D. in Berlin-Steglitz. Mit 115 Abbildungen. Nr. 631.
- Wahrscheinlichkeitsrechnung** von Dr. F. Haß, Prof. a. Eberh.-Ludw.-Gymn. in Stuttgart. Nr. 15 Fig. Nr. 508.
- Waldeck. Landeskunde des Großherzogtums Hessen, der Provinz Hessen-Nassau und des Fürstentums Waldeck** von Professor Dr. Georg Greim in Darmstadt. Mit 13 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 376.
- Waltharilied, Das,** im Versmaße der Urschrift überetzt u. erläutert von Prof. Dr. S. Althof, Oberlehrer am Realgymnas. in Weimar. Nr. 46.
- Walther von der Vogelweide,** mit Auswahl a. Minnesang u. Spruchdichtung. Mit Anmerkgn. u. einem Wörterbuch v. Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule und an der Techn. Hochsch. in Stuttgart. Nr. 23.
- Walzwerke. Die, Einrichtung und Betrieb.** Von Dipl.-Ing. A. Holverscheld, Oberlehrer a. d. Kgl. Maschinenbau- u. Hütteneschule in Duisburg. Mit 151 Abbild. Nr. 580.
- Warenhäuser. Geschäft- u. Warenhäuser v. S. Schliepmann, Kgl. Baur. i. Berlin. I: Vom Laden zum „Grand Magasin“.** Mit 23 Abb. Nr. 655.
- II: Die weitere Entwicklung der Kaufhäuser. Mit 39 Abb. Nr. 656.
- Warenkunde** von Dr. Karl Hassack, Prof. u. Leiter der f. l. Handelsakademie in Graz. I. Teil: Unorganische Waren. Nr. 40 Abb. Nr. 222.
- II. Teil: Organische Waren. Mit 36 Abbildungen. Nr. 223.

- Warenzeichenrecht, Das.** Nach dem Gesetz z. Schutz d. Warenbezeichnungen v. 12. Mai 1894. Von Reg.-Rat J. Neuberg, Mitglied des Reichspatentamts zu Berlin. Nr. 360.
- Wärme. Theoretische Physik II. 2.: Licht u. Wärme.** Von Dr. Gustav Jäger, Prof. a. d. Techn. Hochschule Wien. Mit 47 Abbildgn. Nr. 77.
- Wärmekraftmaschinen. Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- u. Kältemaschinen von M. Röttlinger, Diplom.-Ing. in Mannheim.** Mit 73 Fig. Nr. 2.
- Wärmelehre, Technische (Thermodynamik) v. R. Walther u. M. Röttlinger, Dipl.-Ing. Mit 54 Fig. Nr. 242**
- Wäscherei. Textilindustrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** von Dr. Wilh. Massot, Prof. an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Figuren. Nr. 186.
- Wasser, Das, und seine Verwendung in Industrie und Gewerbe** v. Dr. Ernst Leher, Dipl.-Ing. in Saalfeld. Mit 15 Abbildungen. Nr. 261.
- Wasser und Abwasser. Ihre Zusammenfassung, Beurteilung u. Untersuchung** v. Prof. Dr. Emil Haselhoff, Vorst. d. landwirtsch. Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 473.
- Wasserinstallationen. Gas- und Wasserinstallationen mit Einschluß der Abortanlagen** v. Prof. Dr. phil. u. Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmstadt. Mit 119 Abbild. Nr. 412.
- Wasserkraftanlagen von Th. Rümelin, Regierungsbaumeister a. D., Oberingenieur in Dresden. I: Beschreibung.** Mit 66 Figuren. Nr. 665.
- II: Gewinnung der Wasserkraft. Mit 35 Figuren. Nr. 666.
- III: Bau und Betrieb. Mit 56 Figuren. Nr. 667.
- Wasserturbinen, Die, von Dipl.-Ing. B. Holl in Berlin. I: Allgemeines.** Die Freistrahlturbinen. Mit 113 Abbildungen. Nr. 541.
- II: Die Überdruckturbinen. Die Wasserkraftanlagen. Mit 102 Abbild. Nr. 542.
- Wasserversorgung der Ortschaften** v. Dr.-Ing. Robert Wehrhach, Prof. an der Königl. Technischen Hochschule Stuttgart. Mit 85 Fig. Nr. 5.
- Webererei. Textilindustrie II: Webererei, Wirkererei, Posamentiererei, Spitzen- u. Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Königl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Figuren. Nr. 185.
- Wechselstromerzeuger** von Ing. Karl Bichelmayer, Prof. an der k. k. Technischen Hochschule in Wien. Mit 40 Figuren. Nr. 547.
- Wechselwesen, Das, v. Rechtsanw. Dr. Rudolf Mothes in Leipzig.** Nr. 103.
- Wehrverfassung, Deutsche, von Geh. Kriegsrat Karl Endres, vortr. Rat i. Kriegsminist. i. München.** Nr. 401.
- Werkzeugmaschinen für Holzbearbeitung, Die, von Ing. Professor Hermann Wilba in Bremen.** Mit 125 Abbildungen. Nr. 582.
- Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung, Die, von Ing. Prof. Hermann Wilba in Bremen. I: Die Mechanismen der Werkzeugmaschinen.** Die Drehbänke. Die Fräsmaschinen. Mit 319 Abb. Nr. 561.
- II: Die Bohr- und Schleifmaschinen. Die Hobel-, Shaping- u. Stoßmaschinen. Die Sägen u. Scheren. Antrieb u. Kraftbedarf. Mit 206 Abbild. Nr. 562.
- Westpreußen. Landeskunde der Provinz Westpreußen** von Frh. Braun, Oberlehrer am Königl. Gymnasium in Graubenz. Mit 16 Tafeln, 7 Textarten u. 1 lith. Karte. Nr. 570.
- Wettbewerb, Der unlaute, von Rechtsanw. Dr. Martin Wassermann in Hamburg. I: Generalklausel, Reklameauswüchse, Ausverkaufswesen, Angestelltenbestechung.** Nr. 339.
- II: Kreditschädigung, Firmen- und Namenmißbrauch, Verrat von Geheimnissen, Ausländerschuß. Nr. 535.
- Wirbellose Tiere. Das Tierreich VI: Die wirbellosen Tiere** von Dr. Ludwig Böhmig, Prof. d. Zoologie an der Univ. Graz. I: Urtiere, Schwämme, Nesseltiere, Rippenquallen u. Würmer. Mit 74 Fig. Nr. 439.
- II: Krebse, Spinnentiere, Tausendfüßer, Weichtiere, Moostierchen, Armfüßer, Stachelhäuter u. Manteltiere. Mit 97 Fig. Nr. 440.

- Wirkerei, Textilindustrie II: Webe-**  
**rei, Wirkerei, Posamentiererei,**  
**Spizen- u. Gardinenfabrikation**  
**und Filzfabrikation von Prof. Max**  
**Gürtler, Geh. Regierungsrat im**  
**Königl. Landesgewerbeamt zu**  
**Berlin. Mit 29 Figuren. Nr. 185**
- Wirtschaftlichen Verbände, Die, von**  
**Dr. Leo Müffelmann in Kofstod.**  
**Nr. 586.**
- Wirtschaftspflege. Kommunale Wirt-**  
**schaftspflege von Dr. Alfons Rieh,**  
**Magistratsass. in Berlin. Nr. 534.**
- Wohnungsfrage, Die, v. Dr. L. Pohle,**  
**Prof. der Staatswissenschaften zu**  
**Frankfurt a. M. I: Das Wohnungs-**  
**wesen i. d. modern. Stadt. Nr. 495.**  
 — — II: Die städtische Wohnungs-  
 und Bodenpolitik. Nr. 496.
- Wolfram von Eschenbach. Hartmann**  
**v. Aue, Wolfram v. Eschenbach**  
**und Gottfried von Straßburg.**  
**Auswahl aus dem höf. Epos m. An-**  
**merkungen u. Wörterbuch v. Dr. R.**  
**Marold, Prof. am Kgl. Friedrichs-**  
**kolleg. zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.**
- Wörterbuch nach der neuen deutschen**  
**Rechtschreibung von Dr. Heinrich**  
**Klenz. Nr. 200.**  
 — Deutsches, von Dr. Richard Loewe  
 in Berlin. Nr. 64.  
 — Technisches, enthaltend die wichtig-  
 sten Ausdrücke des Maschinenbaues,  
 Schiffbaues und der Elektrotechnik  
 von Erich Krebs in Berlin. I. Teil:  
 Deutsch-Englisch. Nr. 395.  
 — — II. Teil: Engl.-Dtsch. Nr. 396.  
 — — III. Teil: Dtsch.-Franz. Nr. 453.  
 — — IV. Teil: Franz.-Dtsch. Nr. 454.
- Württemberg. Württembergische Ge-**  
**schichte v. Dr. Karl Weller, Prof.**  
**am Karlsghymnasium in Stuttgart.**  
**Nr. 462.**
- Württemberg. Landeskunde des**  
**Königreichs Württemberg von**  
**Dr. R. Hassert, Prof. d. Geographie**  
**a. d. Handelshochschule in Köln. Mit**  
**16 Vollbildern u. 1 Karte. Nr. 157.**
- Zeichenschule von Prof. R. Kimmich**  
**in Ulm. Mit 18 Tafeln in Ton-,**  
**Farben- und Golddruck und 200**  
**Voll- und Textbildern. Nr. 39.**
- Zeichnen, Geometrisches, von D.**  
**Beder, Architekt und Lehrer an der**  
**Baugewerkschule in Magdeburg,**  
**neu bearbeitet von Prof. J. Bon-**  
**derlinn, Direktor der Königl. Bau-**  
**gewerkschule zu Münster. Mit 290**  
**Fig. u. 23 Taf. im Text. Nr. 58.**
- Zeitungsvesen, Das deutsche, von Dr.**  
**R. Brunhuber, Köln a. Rh. Nr. 400.**
- Zeitungsvesen, Das moderne, (Ehst.**  
**d. Zeitungslehre) von Dr. Robert**  
**Brunhuber in Köln a. Rh. Nr. 320.**
- Zeitungsvesen, Allgemeine Geschichte**  
**des, von Dr. Ludwig Salomon**  
**in Jena. Nr. 351.**
- Zellenlehre und Anatomie der Pflan-**  
**zen von Prof. Dr. S. Wiehe in**  
**Leipzig. Mit 79 Abbild. Nr. 556.**
- Zentral-Perspektive von Architekt**  
**Hans Frehberger, neu bearbeitet**  
**von Professor J. Bonderlinn, Di-**  
**rektor der Königl. Baugewerkschule**  
**in Münster i. Westf. Mit 132 Fig.**  
**Nr. 57.**
- Zimmerarbeiten von Carl Opitz, Ober-**  
**lehrer an der Kais. Techn. Schule in**  
**Straßburg i. E. I: Allgemeines,**  
**Balkenlagen, Zwischendecken und**  
**Deckenbildungen, hölz. Fußböden,**  
**Fachwerkswände, Hänge- und**  
**Sprengherke. Mit 169 Ab-**  
**bildungen. Nr. 489.**  
 — — II: Dächer, Wandbelleibungen,  
 Einischalungen, Block-, Bohlen-  
 und Bretterwände, Säune, Türen,  
 Tore, Tribünen und Baugerüste,  
 Mit 167 Abbildungen. Nr. 490.
- Zivilprozeßrecht, Deutsches, von Prof.**  
**Dr. Wilhelm Risch in Straßburg**  
**i. E. 3 Bände. Nr. 428—430.**
- Zoologie, Geschichte der, von Prof.**  
**Dr. Rud. Burckhardt. Nr. 357.**
- Zündwaren von Direktor Dr. Alfons**  
**Bujard, Vorst. des Städt. Chem.**  
**Laboratoriums Stuttgart. Nr. 109.**
- Zwangsversteigerung, Die, und die**  
**Zwangsverwaltung von Dr. \*F.**  
**Kreßschmar, Oberlandesgerichtsrat**  
**in Dresden. Nr. 523.**
- Zwirnerei. Textilindustrie I: Spin-**  
**nerci und Zwirnerei von Prof.**  
**Max Gürtler, Geh. Regierungsrat**  
**im Königlichen Landesgewerbeamt**  
**zu Berlin. Mit 39 Fig. Nr. 184.**

== Weitere Bände sind in Vorbereitung ==

## Allgemeine Verkehrsgeographie.

Von Prof. Dr. Kurt Hassert. Mit 12 Karten und graphischen Darstellungen. Brosch. M. 10.—, in Halbfranz geb. M. 12.—.

---

## Geschichte der Aufteilung und Kolonisation Afrikas seit dem Zeitalter der Entdeckungen.

Von Prof. Dr. Paul Darmstaedter. Erster Band: 1415—1870. Brosch. M. 7.50, in Halbfranz geb. M. 9.50.

---

## Goethes Wilhelm Meister und die Entwicklung des modernen Lebensideals.

Von Professor Max Bunde. Brosch. M. 8.—, geb. M. 8.80.

---

## Grundriß einer Philosophie des Schaffens als Kulturphilosophie.

Einführung in die Philosophie als Weltanschauungslehre. Von Privatdozent Dr. Otto Braun. Brosch. M. 4.50, geb. M. 5.—.

---

## Das Gefühl. Eine psychologische Untersuchung.

Von Professor Dr. Theobald Ziegler. 5. durchges. u. verb. Aufl. Brosch. M. 4.20, geb. M. 5.20.

---

## Historik. Ein Organon geschichtlichen Denkens und Forschens.

Von Privatdozent Dr. Ludwig Rieß. Erster Band. Brosch. M. 7.50, in Halbfranz geb. M. 9.50.

# Volkspychologie

Das Seelenleben im Spiegel der Sprache

Von Dr. Rudolf Kleinpaul.

Preis: broschiert M. 4.80, gebunden M. 5.50.

Der Verfasser beginnt in der Einleitung des Werkes mit dem Nachweis, wie überhaupt eine Psyche in die Welt gekommen und den Naturkindern der Begriff eines inwendigen Menschen aufgegangen ist und schildert dann in großen Zügen die Schicksale und die Hauptbegebenheiten, die eine mühsige Menge diesem inwendigen Menschen zuschreibt: sein romanhaftes Gemütsleben, sein geplagtes Alltagsleben, sein Naturleben, seine Erfahrungswissenschaft, sein Traumleben, seine Ekstasen und sein Leben nach dem Tode. Er entwickelt die sensualistische Erkenntnistheorie des Volkes. Mit beispielloser Kühnheit wird im Verfolg seiner Anschauungen der Vorhang von der geheimen Werkstätte des Geistes weggezogen und dem philosophischen Ich auf den Grund gegangen. Zum erstenmal und mit überlegener Kunst wurde hier an die Grundlagen des psychologischen Wissens selbst gerührt und von dem hergebrachten Schematismus an die Worte und ihren sichtbaren Ursprung appelliert. Auf die einfachsten Begriffe der Seelenlehre, der Logik und der Moral fällt dabei plötzlich und überraschend ein helles Schlaglicht — man sieht den Frieden und den Kummer, wie er gewesen ist, und den Schmerz, wie in ein Laokoon gefühlt hat, man sieht die Geduld tragen, den Verstand stehen und die Intelligenz lesen — der Grund, der zureichende Grund, das Wissen selbst erscheint in seiner wahren, unverfälschten und unverkünstelten Gestalt, eine Umwälzung der gesamten philosophischen Terminologie tritt ein, und dennoch ist es keine neue Phantasie, sondern nur eine Wiederherstellung des Alten, Eingebürgerten und männiglich Bekannten.



2,60

S - 96

20-2

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301274



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297981