

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

1

~~389~~

L. inw. ....

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

86

teswelt

K. Vater  
Die neueren  
Wärmekraftmaschinen

II

Vierte Auflage

B

B. G. Teubner. Leipzig. Berlin

Die fünfmalige Lohnerhöhung für Buchdrucker und Buchbinder allein im letzten halben Jahre wie die gleichzeitige weitere Preissteigerung aller Materialien zwingt mich zu einer Erhöhung des Grundpreises der Sammlung, und zwar für die bisherige Einbandausführung von M. 1.90 auf M. 2.15.

Um die Bändchen auch zu einem billigeren Preise bei geringeren Ansprüchen an die Ausführung des Einbandes zugänglich zu machen, liefere ich ferner zu dem Grundpreis von M. 1.75 einen Kriegseinband (mit fester Buchheftung und Kartonumschlag). — Zu diesen Grundpreisen treten zum Ausgleich der ebenfalls beträchtlich gestiegenen und sich noch steigenden allgemeinen Unkosten des Verlages und der Buchhändler Tenerungszuschläge hinzu.

Leipzig, 1. Oktober 1919 **B. G. Teubner**

## steswelt"

ihrem Entstehen dem  
Bahn dem Luch-  
n Wissenschaft, Kunst  
abei zugleich unmittel-  
ternd, die Einsicht

uptwissensgebiete für  
, wie sie den heutigen  
e ein Bedürfnis, dem  
Lehrbüchern tragen,  
Vertrautheit mit dem

verlässige Über-  
Biete des geistigen

Lebens in weitem Umfang und Vermögen so vor allem auch dem immer stärker werdenden Bedürfnis des Forschers zu dienen, sich auf den Nachbargebieten auf dem laufenden zu erhalten.

In den Dienst dieser Aufgabe haben sich darum auch in dankenswerter Weise von Anfang an die besten Namen gestellt, gern die Gelegenheit benutzend, sich an weiteste Kreise zu wenden, an ihrem Teil bestrebt, der Gefahr der „Spezialisierung“ unserer Kultur entgegenzuarbeiten.

So konnte der Sammlung auch der Erfolg nicht fehlen. Mehr als die Hälfte der Bändchen liegen, bei jeder Auflage durchaus neu bearbeitet, bereits in 2. bis 6. Auflage vor, insgesamt hat die Sammlung bis jetzt eine Verbreitung von weit über 4 Millionen Exemplaren gefunden.

Alles in allem sind die schmunen, gebaltvollen Bände besonders geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen kleinen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden. Durch den billigen Preis ermöglichen sie es tatsächlich jedem, auch dem wenig Begüterten, sich eine Bücherei zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt“ vereint.

Jedes der meist reich illustrierten Bändchen

Biblioteka Politechniki Krakowskiej

Je  
Si



100000295891

Leipzig,

lich

M. 1.90  
handlungen

**B. Teubner**

Bisher sind erschienen  
**zur Technik und mechanischen Industrie:**

**Geschichte und Grundlagen der Technik.**

**Am tausenden Webstuhl der Zeit.** Übersicht über die Wirkungen der Naturwissenschaft und Technik auf das gesamte Kulturleben. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Launhardt. 7. Aufl. Mit 3 Abbildungen. (Bd. 27.)

**Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit.** Von Geh. Reg.-Rat M. Gettel. Mit 32 Abbildungen. (Bd. 28.)

**Einführung in das Studium der Technik.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. G. Lorenz. (Bd. 729.)

**Mechanik.**

**\*Mechanik.** Von Prof. Dr. S. Hamel. I. Grundbegriffe der Mechanik. II. Mechanik der festen Körper. III. Mechanik der flüssigen und luftförmigen Körper. (Bd. 684/686.)

**Aufgaben aus der technischen Mechanik.** Für den Schul- und Selbstunterricht. Von Prof. N. Schmitt. I. Bewegungslehre. Statik. 156 Aufgaben u. Lösungen mit zahlreichen Fig. im Text. II. Dynamik. 140 Aufgaben u. Lösungen mit zahlr. Fig. im Text. (Bd. 558/559.)

**Statik.** Mit Einschluß der Festigkeitslehre. Von Baugewerkschuldirektor Reg.-Baumeister A. Schau. Mit 149 Fig. (Bd. 497.)

**Einführung in die technische Wärmelehre (Thermodynamik).** Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. Mit 40 Abb. im Text. (Bd. 516.)

**Praktische Thermodynamik.** Aufgaben und Beispiele zur technischen Wärmelehre. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. Mit 40 Abb. im Text u. 3 Tafeln. (Bd. 596.)

**Das Perpetuum mobile.** Von Dr. Fr. Schaf. Mit 38 Abb. (Bd. 462.)

**Bergbau, Hüttenwesen und mechanische Technologie.**

**Unsere Kohlen.** Von Bergassessor B. Kukul. Mit 60 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 396.)

**Die Metalle.** Von Prof. Dr. K. Scheid. 9. Aufl. Mit 11 Abb. (Bd. 29.)

**Das Eisenhüttenwesen.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Wedding. 5. Aufl. von Bergassessor J. W. Wedding. Mit 22 Abb. (Bd. 20.)

**Maschinenelemente.** Von Geh. Bergrat Professor A. Vater. 3. Aufl. Mit 175 Abbildungen. (Bd. 301.)

**Hebezeuge.** Hilfsmittel zum Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2. Aufl. Mit 67 Abb. im Text. (Bd. 196.)

**Das Holz, seine Bearbeitung u. seine Verwendung.** Von J. Großmann, Inspektor der Lehrwerkstätten für Holzbearbeitung in München. Mit 99 Originalabb. im Text. (Bd. 473.)

**Die Spinnerei.** Von Direktor Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abbildungen. (Bd. 398.)

**Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung.** Von Dr. B. Alt. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 311.)

**Maschinenlehre.**

**Industrielle Feuerungsanlagen und Dampfkessel.** Von Ingenieur J. E. Maßer. Mit 88 Abbildungen. (Bd. 348.)

**Die Dampfmaschine.** Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2 Bde. I. Bd.: Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. 4. Aufl. Mit 37 Abb. II. Bd.: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. 2. Aufl. Mit 105 Abb. (Bd. 393/394.)

**Die neueren Wärmekraftmaschinen.** Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2 Bände. I. Bd.: Einführung in die Theorie und den Bau der Gasmaschinen. 5. Aufl. M. 41 Abb. (Bd. 21.) II. Bd.: Gaserzeuger, Großgasmaschinen, Gas- u. Dampfturbinen. 4. Auflage. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 86.)

**Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte.** Von Geh. Reg.-Rat A. v. Jhering. 2. Aufl. Mit 57 Abb. (Bd. 228.)

**Landwirtschaftliche Maschinenkunde.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. G. Sifher. Mit 64 Abbildungen. 2. Auflage. (Bd. 316.)

### Elektrotechnik.

- Grundlagen d. Elektrotechnik. V. Obering, A. Kottb. 2. Aufl. M. 74 Abb. (Bd. 391.)  
Die elektrische Kraftübertragung. Von Ing. P. Köhn. 2. Aufl. Mit 193 Abb. (Bd. 424.)  
Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Oberpostinsp. H. Brück. 2. Aufl. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)  
Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Oberpostinsp. H. Brück. 2. Aufl. Mit 65 Abb. (Bd. 235.)  
Das Telegraphen- und Fernsprechwesen. 2. Aufl. Von Oberpostrat Otto Sieblist. Mit Fig. (Bd. 183.)  
Die Funtenentelegraphie. Von Teleg.-Inspr. H. Thurn. 3. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 167.)

### Hausbau und -einrichtung.

- Der Eisenbetonbau. Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. 2. Aufl. Mit 82 Abbildungen im Text sowie 8 Rechnungsbeispielen. (Bd. 275.)  
Heizung und Lüftung. Von Ingenieur J. E. Maier. Mit 40 Abbild. (Bd. 241.)  
Das Beleuchtungswesen. Von Ing. Dr. H. Lux. M. 54 Abb. (Bd. 439.)

### Verkehrstechnik.

- Das Eisenbahnwesen. Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor a. D. Dr.-Ing. E. Viedermann. 3., verb. Aufl. Mit 62 Abbildungen. (Bd. 144.)  
Die Klein- und Straßenbahnen. V. Oberlehrer A. Liebmann. M. 85 Abb. (Bd. 322.)  
Das Automobil. Eine Einführung in den Bau des heutigen Personen-Kraftwagens. Von Oberingenieur u. Automobil-Prüfungs-Kommissär bei der n.-ö. Staatshalterei K. Vlau. 3., überarbeitete Auflage. Mit 98 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 166.)  
Die Luftfahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. K. Nimführ. 3. Auflage von Dr. J. Huth. Mit 60 Abbildungen. (Bd. 300.)  
Nautik. Von Direktor Dr. J. Möller. 2. Aufl. Mit zahlr. Abbildungen. (Bd. 255.)

### Kriegstechnik.

- Die Handfeuerwaffen. Ihre Entwicklung und Technik. Von Major K. Weiß. Mit 69 Abbildungen. (Bd. 364.)  
Unsere Kriegsschiffe. Ihre Entstehung und Verwendung. Von Geh. Marinebaurat a. D. E. Krieger. 2. Aufl. von Marinebaurat Friedr. Schürer. Mit 62 Abb. (Bd. 389.)

### Graphische und Fein-Industrie.

- Wie ein Buch entsteht. Von Professor A. W. Unger. 4. Aufl. Mit 7 Tafeln und 26 Abbildungen im Text. (Bd. 175.)  
Die Schmucksteine und die Schmuckstein-Industrie. Von Dr. A. Eppler. Mit 64 Abbildungen. (Bd. 376.)  
Die Uhr. Grundlagen und Technik der Zeitmessung. Von Prof. Dr.-Ing. H. Volk. 2., umgearbeitete Auflage. Mit 55 Abbildungen im Text. (Bd. 216.)  
Die Rechenmaschinen und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Nat. Dipl.-Ing. K. Lenz. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 490.)

### Zeichnen.

- Der Weg zur Zeichenkunst. Von Dr. E. Weber. 2. Aufl. Mit 81 Abbildungen und 1 farbigen Tafel. (Bd. 430.)  
Geometrisches Zeichnen. Von akad. Zeichenlehrer A. Schudeistk. Mit Fig. (Bd. 568.)  
Technisches Zeichnen. Von Reg.- u. Gewerbeschulrat Prof. K. Horstmann. (Bd. 548.)  
Projektionslehre. Die rechtwinklige Parallelprojektion und ihre Anwendung auf die Darstellung technischer Gebilde nebst Anhang über die schiefwinklige Parallelprojektion in kurzer leichtfasslicher Darstellung für Selbstunterricht und Schulgebrauch. Von akad. Zeichenlehrer A. Schudeistk. Mit 164 Figuren im Text. (Bd. 564.)  
Grundzüge der Perspektive nebst Anwendungen. V. Prof. Dr. K. Doehlemann. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)  
Maße und Messen. Von Dr. W. Floß. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)

Die mit \* bezeichneten und weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

*hoffen Kfz*

Aus Natur und Geisteswelt  
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

86. Bändchen

Die neueren  
Wärmekraftmaschinen

II. Gaserzeuger, Großgasmaschinen,  
Dampf- und Gasturbinen

Von

Richard Vater

Geh. Bergrat, ord. Professor an  
der Kgl. Techn. Hochschule Berlin

Vierte Auflage

15. bis 19. Tausend

Mit 43 Abbildungen



Verlag und Druck von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1918



*17. Juni 21. Berlin*

*W 1/3*

*270/2*



~~I-369~~

I-301513

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:  
Copyright 1918 by B. G. Teubner in Leipzig.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Akc. Nr.

BPK- 0-PT/2017  
~~2503~~/51

## Vorwort zur ersten bis vierten Auflage.

Das vorliegende Bändchen stellt eine Ergänzung und Fortsetzung der beiden von mir verfaßten Bändchen 21 und 393 dieser Sammlung dar. Die dort vorausgeschickten Erklärungen der Grundbegriffe der Mechanik und Technischen Wärmelehre sind hier fortgelassen.

Die Neuauflage hat mit der Schwierigkeit zu kämpfen, daß während des gegenwärtigen Krieges auf den hier behandelten Gebieten so manche Fortschritte erzielt worden sind, deren Veröffentlichung zur Zeit nicht angängig ist. Immerhin bot sich doch die Möglichkeit, verschiedenes, was veraltet war, auszuschalten und dafür neuere Gestaltungen und Ergebnisse zu setzen.

Berlin-Grünwald, im August 1918.

H. Vater.

# Inhaltsübersicht.

	Seite
Vorwort zur ersten bis vierten Auflage . . . . .	2
<b>Erster Teil: Gasmaschinen.</b>	
<b>Erster Abschnitt: Gaserzeuger.</b>	
Erstes Kapitel: Luftgas, Wassergas, Mischgas . . . . .	7
Vollkommene und unvollkommene Verbrennung (7). Luftgas, Wassergas (8). Mischgas (9).	
Zweites Kapitel: Mischgas als Druckgas . . . . .	11
Verfahren von Dowson. Hauptnachteile der Druckgas erzeugung (11).	
Drittes Kapitel: Mischgas als Sauggas . . . . .	13
Vereinfachung der Herstellungsweise (13). Vorteile des Saugverfahrens (15). Nachteil der Sauggasanlage gegenüber der Druckgasanlage. Beschreibung einer Sauggasanlage (16).	
Viertes Kapitel: Die für die Vergasung geeigneten Brennstoffe	18
Schwierigkeiten bei Verwendung gashaltiger und backender Brennstoffe (18). Vorteile von Anthrazit und Koks. Notwendigkeit von Reinigungsanlagen (19). Vergasung von Braunkohle (20). Vergasung von Torf (21). Vergasung minderwertiger Brennstoffe (22).	
Fünftes Kapitel: Betrieb und Wirtschaftlichkeit der Sauggas-	25
anlagen . . . . .	
<b>Zweiter Abschnitt: Großgasmaschinen.</b>	
Erstes Kapitel: Entwicklung der Gasmaschine zur Großgas-	26
maschine . . . . .	
Geschichtliches (26). Schwierigkeiten beim Bau von Großgasmaschinen (27). Schweres Triebwerk (28). Einfluß hoher Temperatur (28). Anlässe zur Entwicklung der Großgasmaschine (29). Koksöfengase (30). Die verschiedenen Formen der Großgasmaschinen (31).	
Zweites Kapitel: Zweitaktmaschinen . . . . .	32
Viertakt, Zweitakt, Eintakt (32). Arbeitsweise von Zweitaktmaschinen (32). Zweitaktmaschine und Viertaktmaschine (34).	
Drittes Kapitel: Die Zweitaktmaschine von Körting . . . . .	34
Beschreibung der Maschine (34). Die Wirkungsweise der Körtingmaschine (35) Vorteile und Nachteile der Körtingmaschine (35).	

	Seite
<b>Viertes Kapitel: Die doppelwirkende Viertaktmaschine . . .</b>	<b>36</b>
Die Viertaktmaschine als Zweitaktmaschine und Eintaktmaschine (36). Beschreibung einer doppelwirkenden Viertaktmaschine (37). Arbeitsweise und Regulierung der Maschine (38). Vorteile der doppelwirkenden Viertaktmaschine (39). Entwicklung der doppelwirkenden Viertaktmaschine (40).	
<b>Fünftes Kapitel: Wirtschaftliche Bedeutung und Betrieb der Großgasmaschinen . . .</b>	<b>41</b>
Großgasmaschine und Großdampfmaschine (41), Wirtschaftliche Bedeutung der Hochofen- und Koks-ofengasmaschinen (42). Betrieb der Großgasmaschinen (43).	
<b>Dritter Abschnitt: Die neuere Entwicklung der Dieselmotoren.</b>	
<b>Erstes Kapitel: Die Verwendung billiger Brennstoffe . . .</b>	<b>45</b>
<b>Zweites Kapitel: Die Umgestaltung der ursprünglichen Arbeitsweise . . .</b>	<b>46</b>
<b>Drittes Kapitel: Bauliche Umgestaltung der Dieselmotoren . . .</b>	<b>48</b>
Die Dieselmotoren als ortsfeste Großgasmaschinen (48). Die Gegenkolbenmaschine von Junkers (49). Die Dieselmotoren als Schiffsmotoren (51). Die Vorteile der Dieselmotoren als Schiffsmotoren (52).	
<b>Zweiter Teil: Dampfturbinen.</b>	
<b>Erster Abschnitt: Einführung in die Theorie der Dampfturbinen.</b>	
<b>Erstes Kapitel: Von der „lebendigen Kraft“ eines Körpers . . .</b>	<b>53</b>
Masse eines Körpers (53). Wichtige Gesetze (54). Änderung der lebendigen Kraft (55). Beispiele (56). Umkehrung (57).	
<b>Zweites Kapitel: Absolute und relative Geschwindigkeit . . .</b>	<b>58</b>
Ruhe ein Relativbegriff (58). Geschwindigkeit ein Relativbegriff (59). Erstes Beispiel. Parallelogramm der Geschwindigkeiten (60). Zweites Beispiel (61).	
<b>Drittes Kapitel: Schaufel und Flüssigkeitsstrahl . . .</b>	<b>62</b>
Gerade Schaufel (62). Gekrümmte Schaufel (63). Grundform einer Turbine (65). Wechselnde Schaufelgeschwindigkeit (66). Bestimmung der Schaufelform (68).	
<b>Viertes Kapitel: Strömungseigenschaften des Wasserdampfes . . .</b>	<b>70</b>
Verhalten des Dampfes beim Ausströmen aus Düsen (70). Versuche mit verjüngten Düsen (70). Zusammenfassung der Versuchsergebnisse. Erweiterte Düsen (73).	

<b>Zweiter Abschnitt: Verwendung des Dampfes in den verschiedenen Arten von Dampfturbinen.</b>		
Erstes Kapitel: Allgemeines über Dampfturbinen . . . . .		Seite 75
Allgemeine Bauart (75). Regulierung (76). Hohe Umdrehzahl (77).		
Zweites Kapitel: Hilfsmittel zur Erniedrigung der Umdrehzahl. Turbinensysteme . . . . .		78
Einstufige Turbinen (78). Turbinen mit Geschwindigkeitsstufen (79). Turbinen mit Druckstufen. Druckturbinen (81). Turbinen mit Druckstufen in Verbindung mit Geschwindigkeitsstufen (86). Turbinen mit Überdruckwirkung (87). Zusammengesetzte Turbinenarten (91).		
Drittes Kapitel: Die Dampfturbine als Kraftmaschine . . . . .		92
Nachteile der Kolbenkraftmaschinen (92). Vorteile der Dampfturbinen. Einfache Bauart (93). Ruhiger Gang. Geringer Raumbedarf (94). Vorteilhafter Betrieb (96). Leichtes Ingangsetzen (96).		
Viertes Kapitel: Wirtschaftlichkeit der Dampfturbine . . . . .		97
Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Kolbendampfmaschine (97). Dampfverbrauch der Dampfturbinen (99). Dampfverbrauch bei wechselnder Belastung (99). Bedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb (100). Überhitzung (101). Gute Kondensation (102).		
Fünftes Kapitel: Dampfturbinen für besondere Fälle . . . . .		104
Gegendruckturbinen (104). Anzapfturbinen (106). Abdampfturbinen (106). Zweidruckturbinen (107). Schiffsturbinen (108). Föttingertransformator (109). Zahnräder (110).		
Anhang: Die Gasturbine . . . . .		111
Sachregister . . . . .		113

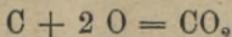
## Erster Teil: Gasmaschinen.

### Erster Abschnitt: Gaserzeuger.

#### Erstes Kapitel: Luftgas, Wassergas, Mischgas.

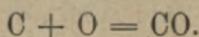
**Vollkommene und unvollkommene Verbrennung.** Wenn wir irgendeinen Stoff, sei es ein fester, flüssiger oder gasförmiger, verbrennen wollen, so gehört dazu unter allen Umständen Sauerstoff, welcher uns ja als Bestandteil der überall vorhandenen Luft in unbeschränkten Mengen zur Verfügung steht. So verbrennen wir z. B. die Kohle in unseren Zimmeröfen, indem wir entweder durch die Ofentüre, durch den Kofst oder durch beides der Außenluft den Zutritt zu den entzündeten Kohlen gestatten, und es ist eine allgemein bekannte Erscheinung, daß diese Verbrennung um so lebhafter vor sich geht, je mehr Luft zu den brennenden Kohlen hinzutritt, oder, wie man sich auszudrücken pflegt, je besser der Ofen „zieht“. Nicht minder bekannt ist es aber auch, daß diese Verbrennung unvollkommen wird, wenn der Zutritt der Luft zu den glühenden Kohlen irgendwie behindert wird, und diese unvollkommene Verbrennung äußert sich in schlimmen Fällen dadurch, daß der Ofen riecht, da sich aus den glühenden Kohlen ein übelriechendes, zum größten Teile aus Kohlenoxyd bestehendes Gas entwickelt, welches infolge seiner großen Giftigkeit schon den Tod so vieler Menschen herbeigeführt hat und leider von Zeit zu Zeit noch immer herbeiführt.

Wir haben hier zwei für die ganze folgende Betrachtung sehr wichtige chemische Erscheinungen vor uns. Die Kohle besteht zum wesentlichen Teile aus Kohlenstoff, in der Chemie mit dem Buchstaben C bezeichnet; der die Verbrennung herbeiführende Teil der Luft ist der Sauerstoff, in der Chemie mit O bezeichnet. Ist für die Verbrennung genügend Luft, also Sauerstoff (O) vorhanden, so verbinden sich immer je zwei Atome O mit einem Atom C, und es entsteht die nicht mehr brennbare Kohlen Säure ( $\text{CO}_2$ ), ein Vorgang, der in chemischen Zeichen durch die Formel ausgedrückt wird:



(Kohlenstoff + 2 Sauerstoff = Kohlen Säure).

Ist dagegen der Zutritt der Luft unvollkommen, so verbindet sich immer nur ein Atom O mit je einem Atom C, und es entsteht das brennbare, giftige, in reinem Zustand geruchlose Kohlenoxydgas (CO) nach der chemischen Formel:



**Luftgas.** So schädlich und verderbenbringend eine unvollkommene Verbrennung der Kohlen in unseren Zimmeröfen ist oder sein kann, so große Vorteile bietet sie mitunter der Industrie, da das durch jene unvollkommene Verbrennung entstandene, der Hauptsache nach aus CO bestehende brennbare Gas für manche Zweige der Technik wertvolle Eigenschaften besitzt, so daß es geradezu absichtlich in großen Mengen hergestellt wird. Diese Herstellung ist im Grunde genommen außerordentlich einfach. Man denke sich einen aufrechtstehenden gemauerten Zylinder, welcher unten mit einem Roste, in seinem obersten Teile mit einem seitlichen Abzugsrohre versehen ist. Dieser Zylinder wird mit Kohlen gefüllt und oben verschlossen. Die Kohlen werden von unten entzündet, und man läßt nun lediglich so viel Luft eintreten, daß nicht eine Verbrennung zu CO<sub>2</sub>, sondern nur eine solche unvollständige Verbrennung unter Bildung von CO stattfinden kann. Das entstandene Gas entweicht durch das seitliche Abzugsrohr des Zylinders und wird dann zu dem gewünschten Verbrauchszwecke weitergeleitet.

Obgleich nun ein solches Gas — man bezeichnet es mit dem allgemeinen Namen Generatorgas oder Luftgas — gerade so wie Leuchtgas unter Vermischung mit Luft zum Betriebe von Gasmaschinen verwendet werden könnte, so ist es doch, vor allen Dingen wegen der hohen Temperatur, mit der es aus dem Gaserzeuger kommt, und wegen seines geringen Heizwertes<sup>1)</sup> (nur etwa 800 WE/cbm), wenig dazu geeignet. Man hat daher seine Eigenschaften dadurch zu vervollkommen gestrebt, daß man ihm noch einen anderen wesentlichen Bestandteil beizugibt, nämlich den Wasserstoff (H), und so ein neues Gas schuf, das sog. Mischgas, von welchem weiter unten die Rede sein wird.

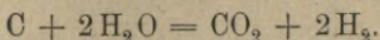
**Wassergas.** Wasser oder Wasserdampf besteht bekanntlich der Hauptsache nach aus den beiden Elementen Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) in der chemischen Zusammensetzung H<sub>2</sub>O, das heißt bei chemisch reinem Wasser entfallen immer auf je zwei Atome H je ein Atom O.

1) Bezügl. Messung des Heizwertes siehe des Verf. „Praktische Thermodynamik“ (MNUG Bd. 596, Abschn. 1).

Leitet man nun Wasserdampf über glühende Kohlen, so findet unter Zerlegung des Wassers eine Verbindung des H und O des Wassers mit dem C der Kohlen statt, und zwar je nach der Temperatur, bei welcher der Vorgang stattfindet, entweder nach der Formel:



oder wenn die Temperatur unter etwa  $800^{\circ}C$  sinkt, nach der Formel:



Mit anderen Worten: es bildet sich bei der Zerlegung entweder ein Gas, welches aus Kohlenoxyd und Wasserstoff, oder ein Gas, welches aus Kohlensäure und Wasserstoff besteht. Ähnlich wie bei der gewöhnlichen Verbrennung der Kohle ist es nun möglich, daß beide Verbindungen gleichzeitig eintreten, das heißt also, daß man ein Gas erhält, welches gleichzeitig aus Kohlenoxyd, Kohlensäure und Wasserstoff besteht. Auch dieses Gas, Wassergas genannt, findet in der Technik Verwendung, und zwar seines hohen Heizwertes wegen in der Regel zu Heizzwecken, nur selten dagegen — seiner umständlichen Herstellung wegen — zur Kräfteerzeugung in Gasmaschinen. Bei der Herstellung von Wassergas ist zu beachten, daß durch das Hineinblasen von Wasserdampf in die glühenden Kohlen und die dadurch bewirkte Zerlegung des Wasserdampfes sehr viel Wärme verbraucht wird, so daß die Erzeugung des Gases immer unvollkommener wird und schließlich ganz aufhört. Es kann daher die Herstellung dieses Gases in dem betreffenden Ofen nicht ununterbrochen stattfinden, sondern die Arbeitsweise ist die, daß der Ofen eine Zeitlang durch Einblasen gepreßter Luft zu hoher Glut angefacht wird, dann wird die Luft abgestellt, und es erfolgt die Erzeugung des Wassergases durch Einblasen von Wasserdampf in die glühenden Kohlen. Nach einem gewissen Zeitraum (etwa zehn bis zwölf Minuten) hat sich der Ofen so stark abgekühlt, daß wieder ein Warmblasen durch Einführung gepreßter Luft erfolgen muß, und so weiter fort.

**Mischgas.** Eine Vereinigung dieses Wassergases und des früher besprochenen Generatorgases stellt nun jenes oben erwähnte, durch Zusatz von H verbesserte Luftgas dar, welches dann als Mischgas oder auch allgemein als Kraftgas bezeichnet wird, da es, wie wir sehen werden, gerade für die Kräfteerzeugung in Gasmaschinen vorzüglich geeignet ist.

Läßt man in die brennenden Kohlen eines „Generator“ oder „Gas-erzeuger“ genannten Ofens, der im wesentlichen gerade so aussieht wie ein Ofen zur Herstellung des Luftgases, außer Luft auch noch Wasser-

dampf eintreten, so findet einmal eine Verbindung des Sauerstoffs der eingeblasenen Luft mit dem Kohlenstoff der Kohle, dann aber auch eine Zerlegung des Wasserdampfes in der früher beim Wassergas besprochenen Weise statt, und die Folge dieser doppelten Zersetzung und Verbindung ist ein Gas, welches an brennbaren Bestandteilen hauptsächlich Kohlenoxyd (etwa 27%) und Wasserstoff (etwa 16%) enthält, während die übrigen Bestandteile aus dem der verbrauchten Luft entstammenden Stickstoff sowie geringen Mengen von sog. Kohlenwasserstoffen bestehen.

Die Vorteile dieser neuen Gasart gegenüber dem gewöhnlichen Luftgas sind die folgenden: Das im vorhergehenden besprochene „Luftgas“ hat, wenn es aus dem Gaserzeuger kommt, eine außerordentlich hohe Temperatur, die unter Umständen einige tausend Grad betragen kann. Ein derartig hochoberhitztes Gas, welches für andere Zwecke, z. B. für die Erzeugung möglichst hoher Temperaturen in Schmelzöfen usw., große Vorteile bietet, ist aber natürlich für die Verwendung in Kraftmaschinen ungeeignet. Will man ein solches Luftgas trotzdem dazu verwenden, so bleibt nichts anderes übrig, als das Gas energisch abzukühlen, wobei naturgemäß in der Regel ein großer Teil der in dem Gas steckenden freien Wärme nutzlos verloren geht. Führt man dagegen an Stelle von Luft allein auch noch Wasserdampf in den Brennstoff ein, so wird ein beträchtlicher Teil der bei der Luftgasbildung erzeugten Wärme dadurch in nutzbringender Weise in chemische Energie umgesetzt, daß der Wasserdampf in der vorher besprochenen Weise zersetzt wird und das nunmehr gebildete sog. Mischgas den Gaserzeuger mit einem wesentlich höheren Heizwerte (rund 1400 WE f. d. cbm) und erheblich niedrigerer Temperatur verläßt, die in der Regel nicht wesentlich mehr als etwa 500° beträgt. Neben diesen Vorteilen bietet auch der Gehalt des Gases an Wasserstoff für die Verwendung in Kraftmaschinen verschiedene Vorzüge. So liegt z. B. die Temperatur, bei der die Entzündung eintritt, bei Wasserstoff bedeutend niedriger als bei Kohlenoxyd; die Geschwindigkeit, mit welcher die Zündung erfolgt, ist bei Außenluftdruck für Wasserstoff etwa 30mal größer als bei Kohlenoxyd, und auch die Diffusionsgeschwindigkeit ist bei Wasserstoff wesentlich größer als bei Kohlenoxyd, das heißt: Wasserstoff vermischt sich rascher mit zugeführter Luft als Kohlenoxyd, eine Eigenschaft, die ja bekanntlich gerade bei der Gasmaschine eine hervorragende Rolle spielt. Endlich wäre noch als Vorteil hervorzuheben, daß während der Verpuffung des Gasluftgemisches in der Gasmaschine der Wasserstoff wieder

zu Wasser verbrennt. Da aber Wasser eine sehr hohe spezifische Wärme hat, das heißt, da für die Verdampfung des durch die Verpuffung gebildeten Wassers eine verhältnismäßig große Wärmemenge nötig ist, wird auch die bei der Verpuffung entstehende Temperatur ermäßigt, so daß wiederum weniger Wärme durch das Kühlwasser abgeführt zu werden braucht.

### Zweites Kapitel: Mischgas als Druckgas.

**Das Verfahren von Dowson.** Der erste, welcher das Mischgas für die Krasterzeugung in Gasmaschinen verwendete, war der Engländer Dowson. Er führte dabei das gleichzeitige Eintreten von Wasserdampf und Luft in der Weise aus, daß er einen besonderen kleinen Dampfkessel aufstellte (Abb. 1), in welchem er zunächst überhitzten Dampf von etwa 4 at Überdruck erzeugte. Diesen hochgespannten und überhitzten Dampf ließ er aus einer feinen Düse in das Rohr eintreten, durch welches Luft in den unteren Teil des Gaserzeugers gelangen konnte. Der aus der Düse austretende Dampfstrahl riß die Luft im Rohre mit sich fort, und es wurde auf diese Weise ein Gemisch von Wasserdampf und Luft in den untersten Teil des Gaserzeugers hineingedrückt. Naturgemäß hatte dann auch das aus dem oberen Teile des Gaserzeugers austretende Mischgas (bei dieser Herstellungsweise übrigens häufig auch Dowsongas genannt) einen gewissen Überdruck über die Außenluft (etwa 150—200 mm Wassersäule), mit dem es zunächst durch verschiedene Kühl- und Reinigungsvorrichtungen („Vorlage“, „Skrubber“ und „Wascher“, Abb. 1) hindurchgedrückt wurde, um dann schließlich unter einer in Wasser eintauchenden Gasglocke eines Gasbehälters aufgefangen zu werden, von wo es ebenfalls unter einem, wenn auch geringeren Überdrucke über die Außenluft (etwa 50 mm Wassersäule) der Gasmaschine zuströmte. Da also in sämtlichen Teilen der Anlage ein Überdruck über die Außenluft herrscht, nennt man das entstandene Gas auch wohl Druckgas im Gegensatz zu dem weiter unten zu besprechenden Sauggas, so daß also Mischgas oder Halbwassergas, Dowsongas, Druckgas alles Ausdrücke für ein und dieselbe Gasart sind.

**Hauptnachteile der Druckgaserzeugung.** Die eben besprochene Herstellungsweise eines zur Krasterzeugung geeigneten Gases leidet an einer Reihe von Übelständen. Einer der Hauptvorteile der ersten Gasmaschinen gegenüber der Dampfmaschine bestand doch eigentlich gerade darin, daß der mit allerlei Belästigungen und Unbequemlichkeiten verknüpfte Dampf-

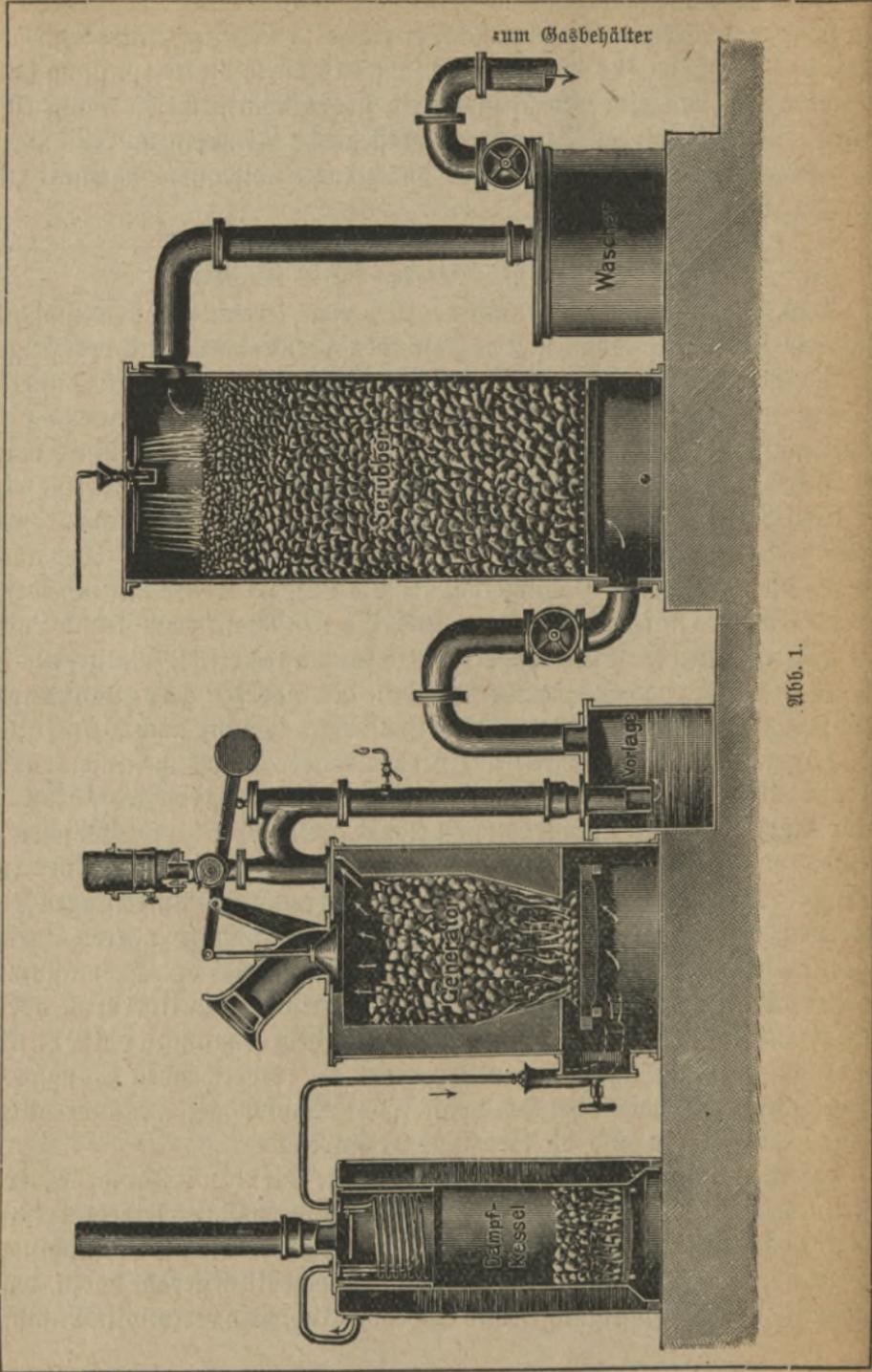


Fig. 1.

kesselbetrieb fortfiel. Wenn nun auch der zu einer Druckgasanlage gehörige Dampfkessel verhältnismäßig kleine Abmessungen aufweist, so ist doch eben immer ein Dampfkessel notwendig, dessen Aufstellung von besonderer behördlicher Erlaubnis abhängig ist und dessen Betrieb mancherlei lästigen gesetzlichen Bestimmungen unterliegt. Das Vorhandensein des Dampfkessels nötigt außerdem zu einer ständigen sorgfältigen Bedienung der ganzen Anlage, da eben neben der Beschickung des Gaserzeugers mit Brennstoff die Feuerung des mit einem Überhitzer versehenen Dampfkessels nicht allzu lange Zeit sich selbst überlassen bleiben darf, zumal die ganze Gaserzeugung mit dem richtigen Arbeiten des Dampfkessels auf das innigste verknüpft ist.

Da diese und andere Übelstände bei dem gleich näher zu besprechenden Sauggasverfahren fortfallen, dürfte es verständlich sein, daß heutzutage Druckgasanlagen für Kräfteerzeugungszwecke allein nicht mehr gebaut werden. Sie finden dagegen noch Anwendung zur Erzeugung von Gas zu Heizzwecken; zu Kräftezwecken nur dann, wenn das Gas nebenbei auch noch zu Heizzwecken dienen soll.

### Drittes Kapitel: Mischgas als Sauggas.

**Bereinfachung der Herstellungsweise.** Es war früher (S. 10) gesagt worden, daß der Vorteil des Mischgases als Kraftgas dem Luftgas gegenüber darin besteht, daß bei dem Mischgase infolge Einblasens von Wasserdampf in den Gaserzeuger ein großer Teil der Kohlenwärme in chemische Energie umgewandelt wird. Mit anderen Worten: bei der Luftgaserzeugung wird ein großer Teil der in den Kohlen steckenden Wärme dazu verwendet, das erzeugte Gas selber auf eine sehr hohe Temperatur zu bringen, die für den Fall einer etwaigen Verwendung des Luftgases als Kraftgas erst durch energische Kühlung wieder erniedrigt werden müßte. Bei der Mischgaserzeugung dagegen wird ein beträchtlicher Teil der in den Kohlen steckenden Wärme dazu verwendet, den in den Gaserzeuger eingeblasenen Wasserdampf in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen, und da der in das erzeugte Gas übergehende Wasserstoff selbst einen bedeutenden Heizwert besitzt, verläßt das Mischgas den Gaserzeuger zwar mit einer wesentlich niedrigeren Temperatur als das Luftgas, dafür ist aber die in dem Mischgas steckende chemisch gebundene Wärme, das heißt der Heizwert des Mischgases, erheblich größer als der des gewöhnlichen Luftgases.

Selbst bei der Herstellung des Mischgases verläßt nun aber das Gas den Gaserzeuger immer noch mit einer Temperatur (meist nicht unter  $500^{\circ}\text{C}$ ), welche für die Verwendung des Gases in Gasmaschinen ungeeignet ist. Es lag daher der Gedanke nahe, den Wärmehalt des den Gaserzeuger verlassenden Mischgases für die Dampferzeugung zu benutzen und auf diese Weise nicht nur den Dampfkessel und alle die damit verbundenen Unannehmlichkeiten zu ersparen, sondern auch die ganze Gaserzeugung wirtschaftlicher zu gestalten, da eben in diesem Falle für die Erzeugung des Dampfes nicht mehr der Aufwand besonderer Kohlen notwendig war. Die Vorteile einer solchen Verwendung der Eigenwärme des abziehenden Gases zur Dampferzeugung ergeben sich aus einer einfachen Berechnung. Für je 1 kg Kohle ist zur Erzeugung von Mischgas das Einblasen von rund 0,7 kg Wasserdampf erforderlich, für dessen Verdampfung rund 450 WE notwendig sind. Für je 1 kg in den Gaserzeuger geschütteter Kohle erhält man infolge des Hinzutretens von Luft und Wasserdampf etwa 5 kg Mischgas. Hat nun das entweichende Gas die spezifische Wärme 0,3 (d. h. sind 0,3 WE notwendig, um 1 kg Gas um  $1^{\circ}\text{C}$  zu erwärmen) und verläßt das Gas den Gaserzeuger mit  $500^{\circ}\text{C}$ , so entweichen für je 1 kg in den Gaserzeuger geschütteter Kohle mit dem gebildeten Gase:

$$5 \cdot 0,3 \cdot 500 = 750 \text{ WE.}$$

Da wir eben gesehen hatten, daß nur 450 WE für die Erzeugung des erforderlichen Wasserdampfes gebraucht werden, so kann man also noch  $450/750 \cdot 100 = 60\%$  der aus dem Gaserzeuger entweichenden freien Wärme für die Dampferzeugung nutzbringend verwerten.

Gleichzeitig ging man auch dazu über, die Gaserzeugung von der Maschinenleistung selbst dadurch abhängig zu machen, daß man den Saugeabschnitt der Viertaktmaschine dazu verwendete, die zur Vergasung nötige Luft von der Maschine durch den Gaserzeuger hindurchsaugen zu lassen, und schuf damit den Grundgedanken der sog. Sauggasanlagen.

Es möge hier besonders hervorgehoben werden, daß einmal die betreffende Kraftmaschine sich nicht von anderen Gaskraftmaschinen unterscheidet, ferner aber auch, daß das durch den Saugevorgang gewonnene Kraftgas dieselbe Zusammensetzung, also auch dieselben Eigenschaften besitzt wie das sog. Druck- oder Downsingas, und daß eben lediglich die Herstellungsweise eine verschiedene, und zwar wesentlich vereinfachte ist.

**Vorteile des Saugverfahrens.** Neben der vereinfachten und wirtschaftlicheren Herstellungsweise bietet die Erzeugung des Mischgases durch das Saugverfahren noch einen weiteren wesentlichen Vorteil gegenüber dem Druck- oder Dowsonverfahren. Wir hatten früher (S. 11) gesehen, daß sämtliche Teile einer Druckgasanlage im Innern einen Überdruck über die Außenluft besitzen, und diese Eigenschaft hat die unangenehme Folge, daß bei vorhandenen Undichtigkeiten ein Ausströmen des Gases erfolgen muß, was bei der großen Giftigkeit und Geruchlosigkeit des Gases unter Umständen für den Maschinenwärter sowohl wie für die ganze Umgebung verhängnisvoll werden kann. Ein solcher Übelstand ist bei der Sauggasanlage so gut wie ausgeschlossen. Da die zur Vergasung notwendige Luft, mit Wasserdampf gesättigt, von der Maschine durch die ganze Anlage hindurch gesaugt wird, stehen sämtliche Teile der Anlage in ihrem Inneren unter einem Druck, der geringer ist als der Druck der Außenluft. Sollte daher irgendwo eine Undichtigkeit eintreten, so würde dies nicht ein Austreten von Gas, sondern ein Eindringen von Luft in den betreffenden Teil der Anlage zur Folge haben, und die Undichtigkeit müßte schon sehr bedeutend sein, wenn etwa durch Vermischung der eingedrungenen Luft mit dem erzeugten Gase die Bildung eines Explosionsgemisches im Innern der Anlage erfolgen sollte, ganz abgesehen davon, daß sich ein solches Eindringen von Luft sehr bald infolge des verringerten Heizwertes des Gases durch Nachlassen der Maschinenleistung bemerkbar machen würde.

Ein weiterer Vorteil der Sauggasanlage besteht darin, daß die Gas-erzeugung unmittelbar abhängig ist von der wechselnden Maschinenleistung, denn je weniger die Maschine Arbeit leistet, um so weniger Gas erzeugt sie, bei gesteigerter Maschinenleistung steigert sich auch selbsttätig die Menge des erzeugten Gases.

Um eine noch weitergehende Einfachheit der Anlage zu erzielen, zum Teil wohl auch, um eine Verminderung des Saugwiderstandes herbeizuführen, ging man schließlich bei kleineren Anlagen und gutem, d. h. möglichst staub- und teerfreiem Brennstoffe, noch dazu über, den auf den Skrubber (Abb. 1 S. 12) folgenden (übrigens auch bei kleineren Druckgasanlagen fehlenden) Sägemehltreiner fortzulassen, so daß dann die ganze Gaserzeugungsanlage für Sauggas nunmehr eigentlich nur noch in die zwei Hauptbestandteile zerfällt, den mit der Wasserverdampfungs- vorrichtung versehenen Gaserzeuger und den zum Abkühlen und Reinigen des Gases bestimmten Skrubber.

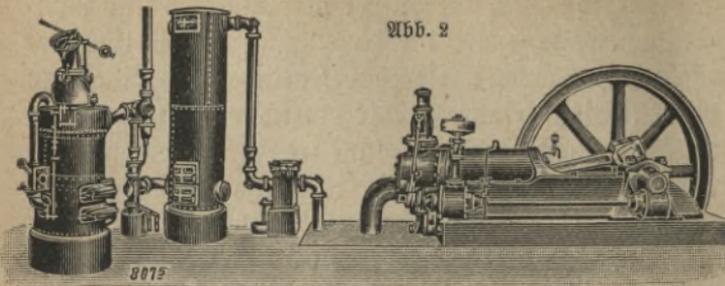


Abbildung. 2 zeigt die bestehende Einfachheit einer solchen Sauggasmaschinenanlage, und es ist klar, daß diese Ein-

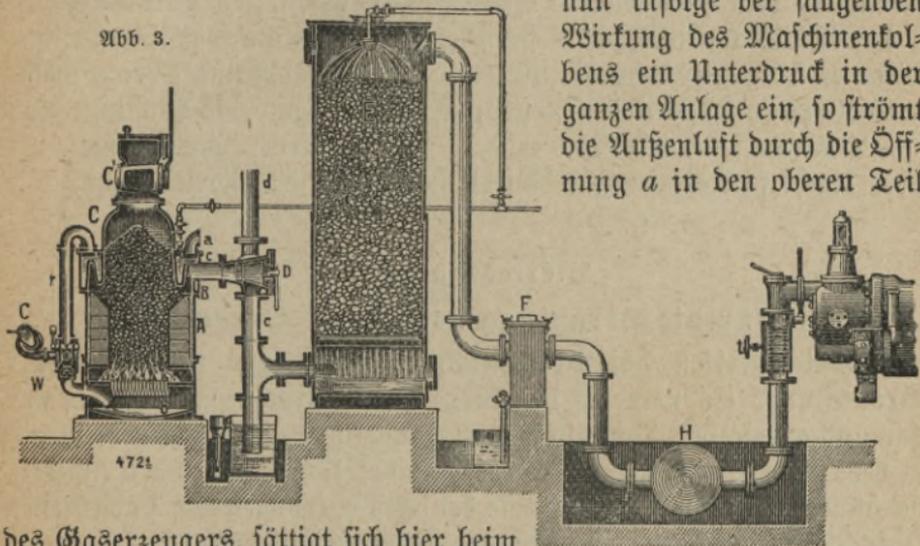
fachheit auf die Wirtschaftlichkeit der ganzen Kraftanlage von großem Einflusse ist.

Ein Nachteil der Sauggasanlage gegenüber der Druckgasanlage kann jedoch nicht verschwiegen werden: Die Inbetriebsetzung einer Sauggasmaschine gestaltet sich nicht so einfach wie das Ingangsetzen einer mit Druckgas betriebenen Maschine. Bei der Druckgasanlage steht infolge des vorhandenen Dampfkessels mit Dampfstrahlgebläse eine verhältnismäßig einfache Vorrichtung für die Inbetriebsetzung des Gaserzeugers zur Verfügung. Bei der Sauggasanlage bleibt nichts anderes übrig, als einen eigenen kleinen Ventilator aufzustellen, durch welchen vor Inbetriebsetzung der Maschine der Gaserzeuger in die für die Gasbereitung nötige Blut gebracht wird. Erst wenn das geschehen und im Gaserzeuger brennbares Gas vorhanden ist, kann die Gasmaschine vermittels einer der bekannten Anlaufvorrichtungen, z. B. vermittels Druckluft, in Gang gesetzt werden, worauf dann nach Verbindung der Maschine mit dem Gaserzeuger die regelmäßige Gaserzeugung und damit der regelmäßige Betrieb beginnt.

**Beschreibung einer Sauggasanlage.** Von der großen Zahl verschiedener Bauarten möge als Beispiel in Abb. 3 der Schnitt durch eine Sauggasanlage erläutert werden, wie sie von der Deutzer Gasmotorenfabrik gebaut wird. Links sieht man den im Innern mit feuerfesten Steinen ausgemauerten Gaserzeuger, dessen oberer Teil aus einem eigentümlich faltigen Aufsatz besteht. Das Innere dieses Aufsatzes, Verdampferschale (*C*) genannt, ist bis zu einer bestimmten, stets gleichbleibenden Höhe mit Wasser gefüllt und steht durch die Öffnung *a* (rechts oben) mit der Außenluft, und durch das Rohr *r* mit dem Raum unter dem Roste in Verbindung. Es mag nun zunächst angenommen werden, der Beharrungszustand sei bereits eingetreten, das heißt, es sei die Leitung, der Strubber usw. mit Gas gefüllt und die Viertaktmaschine,

deren hinterster Teil in der Abbildung rechts noch angedeutet ist, befindet sich in vollem Gange. Durch die in dem Gaserzeuger herrschende Glut sowie die abgehenden heißen Gase wird das im oberen Teile des Gaserzeugers in der Verdampferschale befindliche Wasser erhitzt. Tritt

nun infolge der saugenden Wirkung des Maschinenkolbens ein Unterdruck in der ganzen Anlage ein, so strömt die Außenluft durch die Öffnung *a* in den oberen Teil



des Gaserzeugers, sättigt sich hier beim Hinstreichen über die Oberfläche des heißen Wassers mit Wasserdampf und tritt dann durch das auf der linken Seite nach unten gehende Rohr *r* unter den Rost und von da in den Gaserzeuger, wo die früher besprochene Zersetzung des Wasserdampfes und Bildung des Mischgases vor sich geht. Das Gas verläßt dann den Gaserzeuger durch das bei *B* sichtbare Rohr und durchstreicht zunächst den Skrubber, wo es (vgl. auch Abb. 1 S. 12) gekühlt und gereinigt wird. Nachdem es den zur Abscheidung mitgerissener Flüssigkeitsteilchen dienenden sog. Kondensator *F* durchstrichen hat, kommt es in einen kleinen Gaskessel *H*, von hier in einen Teerabscheider *t* und gelangt schließlich in die Maschine, wo es in der gewöhnlichen Weise, mit Luft vermischt, zur Kräfteerzeugung verwendet wird.

Soll die Maschine außer Betrieb gesetzt werden, so wird ein in der Verbindungsleitung zwischen Gaserzeuger und Skrubber befindlicher sog. Dreiweghahn *D* herumgedreht, wodurch einmal der Gaszufluß nach dem Skrubber abgesperrt und gleichzeitig das Innere des Gaserzeugers mit einem in der Abbildung noch kurz angedeuteten Kamine *d* in Verbindung gesetzt wird. Der Gaserzeuger brennt bei dieser Stellung des Drei-

wegehahnes einfach wie ein zur Zimmerheizung verwendeter Füllofen, wobei der Zug durch die Türen am Aschenraume reguliert werden kann.

Soll die Anlage von neuem in Betrieb gesetzt werden, so wird durch eine Wechsellappe das Verbindungsrohr *r* zwischen dem Verdampferraum und dem Inneren des Gaserzeugers geschlossen und durch den in der Abbildung links bei *W* angedeuteten Ventilator das Feuer einige Minuten lang angefacht, worauf dann Wechsellappe und Dreiweghahn in die ursprüngliche Betriebsstellung gebracht und die Maschine von neuem angelassen wird. Das erneute Anblasen eines Gaserzeugers, der über Nacht stillgelegen hat, dauert nur etwa eine Viertelstunde.

#### Viertes Kapitel:

##### Die für die Vergasung geeigneten Brennstoffe.

**Schwierigkeiten bei Verwendung gashaltiger und backender Brennstoffe.** Es war bei den bisherigen Betrachtungen immer nur ganz allgemein von Brennstoff oder Kohlen gesprochen worden, welche in dem Gaserzeuger vergast werden, und es könnte daher den Anschein gewinnen, als ob sich, ähnlich wie bei den Feuerungen der Dampfkessel, jeder Brennstoff oder doch wenigstens jede Kohlenart in den bisher besprochenen Gaserzeugern ohne weiteres zur Herstellung von Kraftgas verwenden ließe. Das ist nun allerdings nicht der Fall. Würde man nämlich bei den bisher besprochenen Gaserzeugern Brennstoffe verwenden, welche die Eigenschaft haben, beim Brennen zusammenzubacken und große Mengen von Schlacken zu bilden, so würde dadurch, wie man leicht erkennt, der Gaserzeuger sehr bald verstopft und somit ein geregelter Betrieb unmöglich gemacht werden. Ferner aber liefern diese Brennstoffe bei der Vergasung neben Kohlenoxyd, Kohlenensäure und staubförmigen Unreinigkeiten je nach der Beschaffenheit des Brennstoffes mehr oder weniger teerhaltige Dämpfe, welche sich zunächst mit dem abziehenden heißen Gase vermischen, nachher aber bei fortschreitender Abkühlung des Gases als Teer niederschlagen. Diese Teerniederschläge würden nun, falls sie nicht sorgfältig entfernt würden, die Leitung sowohl als auch die einzelnen Teile im Innern der Maschine: Ventile, Kolben, Zylinder usw., sehr bald derartig verschmutzen, daß häufige umständliche Reinigungen der ganzen Anlage und damit fortwährende Betriebsstörungen nicht zu vermeiden wären. Infolge dieser Übelstände war man bei der Auswahl der Brennstoffe zur Erzeugung von Kraft-

gas längere Zeit hindurch sehr beschränkt. Erst in den letzten Jahren ist es gelungen, Schritt für Schritt aller Schwierigkeiten Herr zu werden, und heut kann man wohl sagen, daß es kaum mehr einen Brennstoff gibt, welcher sich nicht in entsprechend ausgebildeten Gaserzeugern zur Herstellung von Kraftgas verwenden ließe.

**Vorteile von Anthrazit und Koks.** Für Sauggasmaschinen kleinerer und mittlerer Leistung ist Einfachheit eine nicht zu umgehende Bedingung. Will man daher diese Einfachheit nach Möglichkeit wahren, so bleibt nichts anderes übrig, als für die Vergasung im Gaserzeuger Brennstoffe zu wählen, welche beim Brennen nicht zusammenbacken, keine oder nur wenige Schlacke bilden und möglichst wenig oder gar keine teerigen Bestandteile enthalten. Ein solcher Brennstoff ist aber in erster Linie die gasarme Kohle, Anthrazit genannt, in zweiter Linie der bekannte Koks, der aus gasreichen (sog. bituminösen) Kohlen durch Austreiben der gashaltigen Bestandteile und des Teeres, z. B. bei der Leuchtgasbereitung, in großen Mengen gewonnen wird. Trotz der für die Vergasung ungefähr gleich guten Eigenschaften von Anthrazit und Koks pflegt man im allgemeinen den Anthrazit doch vorzuziehen, obwohl er bisweilen schwieriger zu beschaffen ist, da unter anderem bei dem auf die Gewichtseinheit bezogenen geringeren Heizwerte und größeren Volumen des Koks Beförderung und Aufbewahrung manchmal Schwierigkeiten bereiten.

**Notwendigkeit von Reinigungsanlagen.** Es muß nun hervorgehoben werden, daß selbst bei bestem Anthrazit und Koks eine Abscheidung von Teer sich nicht ganz vermeiden läßt, und es fragt sich nun, ob man größeren Wert auf eine verwickelte, kostspielige, umständlich zu bedienende Reinigungsanlage legen soll, oder ob man eine geringe Verschmutzung der Leitung und der Maschinen mit in Kauf nimmt und dafür die Gaserzeugungsanlage möglichst einfach gestaltet. Im allgemeinen entscheidet man sich bei kleineren Anlagen für den zuletzt genannten Fall, das heißt, man wendet nicht mehr Reinigungsvorrichtungen an, als früher (S. 15) besprochen wurden, und nimmt dafür die kleine Unbequemlichkeit in Kauf, daß einige Einzelheiten der Maschine, wie z. B. namentlich das Einlaßventil sowie auch das Innere des Zylinders, unter Herausnahme des Kolbens von Zeit zu Zeit gereinigt werden müssen. Bei gutem Brennstoff und zweckmäßiger Gaserzeugungsanlage genügt es meist, wenn der Maschinist etwa alle 14 Tage einmal die Ventile herausnimmt und säubert, was wenige Minuten

in Anspruch nimmt, während der Kolben wohl selten häufiger als etwa alle drei Monate herausgenommen zu werden braucht, was eine Betriebseinstellung von einigen Stunden erforderlich macht.

**Vergasung von Braunkohle.** Die Notwendigkeit der Verwendung eines so teureren, meist schwer zu beschaffenden Brennstoffes wie Anthrazit ist nun allerdings als ein Übelstand der bisher besprochenen Kraftgasanlagen zu bezeichnen, und es war daher schon lange das Bestreben aller Erbauer von Kraftgasanlagen, die Gaserzeuger so umzugestalten, daß nicht bloß Anthrazit und Koks, sondern möglichst jeder Brennstoff zur Erzeugung von Kraftgas verwendet werden kann. Die ersten wichtigen Erfolge in dieser Richtung bestanden darin, daß es gelang, die Sauggaserzeuger so umzugestalten, daß in ihnen aus Braunkohle hergestellte Briketts in einwandfreier Weise vergast und so zu unmittelbarem Antrieb von Gasmaschinen benutzt werden können. Es ist dies für uns aus dem Grunde von so großer wirtschaftlicher Bedeutung, weil bekanntlich gerade Deutschland Schätze an Braunkohlen besitzt wie kein anderes Land der Erde und diese Braunkohlenlager fast über das ganze Land verbreitet sind. Eine solche weite Verbreitung spielt allerdings dabei eine sehr wesentliche Rolle. Da nämlich Braunkohle und Braunkohlenbriketts einen verhältnismäßig niedrigen Heizwert haben — er beträgt im Mittel etwa 4500—5000 WE/kg gegenüber etwa 8000 WE/kg beim Anthrazit —, wird bei gleicher Maschinenleistung fast ein doppelt so großes Gewicht an Brennstoff nötig sein als bei Verwendung von Anthrazit, und es wird daher der hohen Frachtkosten wegen eine solche Verwendung von Braunkohlen und Braunkohlenbriketts nur in nicht zu großer Entfernung von Braunkohlengruben wirtschaftliche Vorteile bieten.

Die Hauptschwierigkeit bei der Vergasung der Braunkohlen und der aus ihnen hergestellten Briketts bildet die Beseitigung des Teeres. Da eine Abscheidung des Teeres auf mechanischem Wege durch umfangreiche Reinigungsanlagen aus wirtschaftlichen Gründen ausgeschlossen ist, wurde der Gaserzeuger so umgestaltet, daß der Teer schon im Gaserzeuger selbst in ein sog. permanentes, d. h. nicht kondensierbares Gas übergeführt wird. In welcher Weise dies z. B. von der Deutzer Gasmotorenfabrik ausgeführt wird, zeigt Abb. 4. Der Gaserzeuger besteht aus einem oben offenen Schachtofen (A), der unten einen Rost besitzt. Während das Gas in der Mitte (in der Abbildung auf der rechten Seite) abzieht, findet die Luftzufuhr oben und unten zugleich statt, so daß sich

zwei Brennzonen bilden. Der oben aufgegebenen Brennstoff wird zunächst durch die Berührung mit der unter ihm liegenden glühenden Schicht verkocht und hierbei, indem er nach abwärts sinkt, im unteren Teile des Ofens vollständig vergast. Die bei der Verkofung nach abwärts ziehenden Destillationszerzeugnisse enthalten noch eine große Menge leicht kondensierbarer flüchtiger Kohlenwasserstoffe (Teere). Diese Stoffe werden aber, da sie vor ihrem Austritte aus dem Gaserzeuger die in voller Glut befindlichen Kohlenschichten in der Mitte des Gaserzeugers durchstreichen müssen, vollständig in permanente, nichtkondensierbare Gase zerlegt und dadurch für den Motorbetrieb unschädlich gemacht. Das erzeugte Gas verläßt den Gaserzeuger praktisch teerfrei, so daß es nur nötig ist, die etwa mitgerissenen Staubteilchen in geeigneter Weise durch die folgenden, verhältnismäßig einfachen Reinigungsrichtungen auszuscheiden, die sich nicht wesentlich von den früher beschriebenen Reinigungsrichtungen unterscheiden. Das

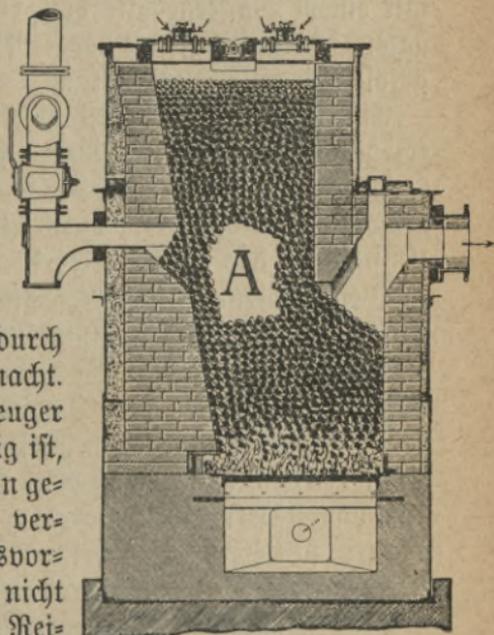


Abb. 4.

auf der linken Seite der Abbildung sichtbare Rohr dient nur dazu, beim Anfeuern des Gaserzeugers die entstehenden Gase ins Freie abzuleiten.

Wegen der oben erwähnten beiden Brennzonen nennt man derartige Gaserzeuger Doppelgeneratoren, auch wohl Doppelfeuergeneratoren.

Der Verbrauch an Brennstoff beträgt je nach Größe der Maschine und dem Heizwerte der verwendeten Briketts etwa 0,9—0,7 kg für die PS<sub>n</sub>-st, was bei dem meist niedrigen Preise der Braunkohlenbriketts bisweilen einem Brennstoffpreise von wenig mehr als einem halben Pfennig für die PS-st entspricht.

**Vergasung von Torf.** Eine fast noch größere Bedeutung wie die Vergasung von Braunkohle und Braunkohlenbriketts hat die Frage, ob es möglich ist, den auch in Deutschland in gewaltigen Mengen vorhandenen Torf in wirtschaftlicher Weise zur Erzeugung von Kraft in Gasmaschinen zu verwenden. Schwierigkeiten bereitet dabei die Feuchtigkeit des Torfes sowie sein hoher Teergehalt. Falls der Wassergehalt

etwa 20—25 % nicht übersteigt, läßt sich auch Torf ohne Schwierigkeit in einem Doppelfeuer-Gaserzeuger vergasen, ähnlich demjenigen, wie er oben für Braunkohlenbriketts beschrieben wurde, und durch geeignete weitere Ausbildung dieser Gaserzeuger ist es jetzt sogar möglich, Torf mit einem Wassergehalte von 40 % und darüber anstandslos zu vergasen, so daß die Frage der Kraftgaserzeugung aus Torf als endgültig gelöst betrachtet werden kann.

Eigenartig ist das Verfahren von Mond, bei welchem als Nebenprodukt das zu Düngezwecken sehr gesuchte schwefelsäure Ammoniak (aus dem Stickstoffgehalte des Torfes) in nicht unbeträchtlichen Mengen gewonnen wird, so daß durch Verkauf dieses Nebenproduktes unter Umständen der größte Teil der Betriebskosten gedeckt werden kann.

Welche wirtschaftliche Bedeutung die Erzeugung von Kraftgas aus Torf namentlich für Deutschland besitzt, dafür nur einige wenige Zahlen. Allein die preussischen Torfmoore schätzt man auf etwa 2,5 Millionen ha — die von ganz Deutschland auf etwa 400 Quadratmeilen! — bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 3 m. Da aus einem cbm Rohorf erfahrungsgemäß etwa 150 kg Trockentorf gewonnen werden und davon<sup>1)</sup> für die Erzeugung von 1 PS-st etwa 0,6 kg verbraucht werden, so liefert 1 ha Torfmoor 7,5 Millionen PS-st, d. h. ein ganzes Jahr hindurch eine ununterbrochene Leistung von 850 PS.

Eine größere Anzahl von Elektrizitätswerken wird jetzt schon mit Torfgasmaschinen betrieben, darunter Anlagen von mehreren tausend PS. Die mitten in den Torfmooren erbauten Zentralen verwandeln dabei die in dem Torf steckende, in Brennstoffform nur auf geringere Entfernung hin versendbare Energie in leicht weithin zu leitende elektrische Energie und sind daher, wie sich leicht erkennen läßt, von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung.

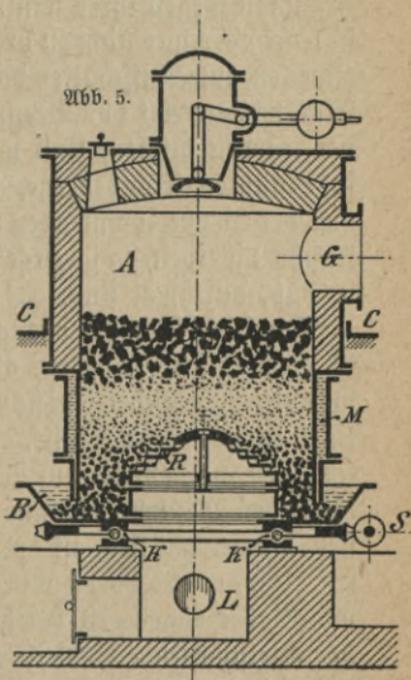
**Vergasung minderwertiger Brennstoffe.** Die bisher besprochenen Gaserzeuger versagen in allen den Fällen, wo der Asche- und Schlackengehalt des Brennstoffes zu groß wird, da in diesem Falle ein Stillsetzen und Reinigen des Gaserzeugers so oft notwendig wird, daß ein ununterbrochener Betrieb nicht aufrechtzuerhalten ist. Gelingt es dagegen, Gaserzeuger zu bauen, bei denen ein solches Entfernen von Asche und Schlacke möglich ist, ohne den Betrieb zu unterbrechen oder die

1) S. Heinz, Die Ausnützung unserer Torfmoore. Ztschr. d. Ver. Deutscher Ingenieure 1911.

Güte der Gasbildung zu beeinträchtigen, so ist damit zugleich die Möglichkeit gegeben, eine ganze Reihe von Stoffen zur Krafterzeugung zu verwenden, die sonst trotz hinreichend großen Kohlenstoffgehaltes in Feuerungsanlagen schlecht oder gar nicht zu verwerten sind und deren Preis daher meist außerordentlich niedrig ist.

Der erste, der einen derartigen Gaserzeuger baute, war der Amerikaner Morgan. Der Grundgedanke dieser Erfindung ist der, daß der Gaserzeuger als eine Art Glocke ausgebildet ist, deren unterer Rand in eine weite mit Wasser gefüllte Schüssel eintaucht. In dieser Schüssel sammeln sich Asche und Schlacke an und können dann, da ja das Wasser den Gaserzeuger dauernd nach unten abschließt, ohne Unterbrechung des Betriebes von Zeit zu Zeit abgezogen werden. Eine in neuerer Zeit häufig angewendete verbesserte Ausführungsform dieses Morgan-Gaserzeugers besteht im wesentlichen darin, daß die erwähnte, mit Wasser gefüllte Schüssel sich dauernd ganz langsam dreht. Infolge dieser Drehung wird einmal die Schlacke in Bewegung gehalten und so die Gefahr eines Zusammenbackens verhindert, dann aber werden durch das ständige Umwenden der Schlacke und Kohle fortwährend neue Flächen des Brennstoffes mit der zuströmenden Luft in Berührung gebracht, was eine Verbesserung und Beschleunigung der Vergasung zur Folge hat. Schließlich können dann auch in einfacher Weise schaufelförmige Vorrichtungen angebracht werden, welche bei der Drehung der wasserhaltenden Schüssel Asche und Schlacke selbsttätig entfernen, so daß damit eine weitere Vereinfachung und Verbilligung des Betriebes erzielt wird.

Abb. 5 zeigt die Gerippstizze eines solchen neuzeitlichen Gaserzeugers. *A* ist der obere, feststehende Teil, welcher in irgendeiner Weise (z. B. bei *C, C*) gelagert und häufig (z. B. in der Ausführung von Ehrhardt & Schmer, Saarbrücken) in der Nähe der heißesten Zone mit einem Kühlwassermantel *M* umgeben ist. *B* ist die mit Wasser gefüllte Schüssel, welche der leichteren Beweglichkeit wegen auf Kugeln *K, K* gelagert ist



und durch ein Zahnrad mit Schneckengetriebe *S* ganz langsam in Umdrehung gehalten wird. *R* ist der tellerförmige Kofst. Seine Achse ist absichtlich nicht mit der Achse des Gaserzeugers zusammenfallend angeordnet, weil dadurch ein fortwährendes Lösen und Zerkleinern der Schlacke erzielt und somit auch ein Festbacken besser verhindert wird. Luft und Dampf treten bei *L* unter den Kofst, während das Gas bei *G* abgesaugt wird und dann natürlich, ehe es in die Maschine gelangt, eine Reihe der früher besprochenen Reinigungsrichtungen durchströmt.

Mit Gaserzeugern dieser und ähnlicher Bauart lassen sich nun eine Reihe von Stoffen zur Gaserzeugung verwenden, die man als minderwertige Brennstoffe zu bezeichnen pflegt. Ein solcher Stoff ist z. B. der Abfall, der sich auf Hüttenwerken und in Leuchtgasanstalten bei der Herstellung des Kofsts bildet und Kofstgrus oder Kofstasche genannt wird. Auch die Rauchkammerlöschke der Lokomotiven gehört hierher, das sind feinkörnige, fast staubförmige Kohlentelchen, die infolge des lebhaften Zuges durch die Rauchrohre des Lokomotivkessels mit fortgerissen werden und sich dann unterhalb des Schornsteines der Lokomotive in der sogenannten Rauchkammer allmählich in großen Mengen ansammeln. Trotz ihres verhältnismäßig hohen Kohlenstoffgehaltes waren diese Brennstoffe bisher schon wegen ihrer feinkörnigen Beschaffenheit in Feuerungsanlagen schlecht oder gar nicht zu brauchen und wurden häufig zu nebensächlichen Zwecken, wie Aufschütten von Wegen u. dgl., zu Spottpreisen abgegeben. Eine weitere Art von Brennstoffen, welche als Abfallerzeugnisse bezeichnet werden müssen, sind minderwertige Steinkohlen, insbesondere die sogenannten Klaubeberge, das sind diejenigen Stücke, welche von der aus der Grube kommenden Kohle durch Menschenhand ausgelesen („geklaubt“) werden, da sie zu sehr mit Nebenbestandteilen, wie Ton, Schiefer u. dgl., durchsetzt sind.

Durch den Bau der obengenannten Gaserzeuger mit drehbarem Kofste ist es möglich geworden, alle diese minderwertigen Brennstoffe in einwandfreier und betriebssicherer Weise zu vergasen und so, bei dem billigen Preise dieser Stoffe, eine äußerst wirtschaftliche Kraftquelle zu erschließen, namentlich auf Werken, wo solche Stoffe im eigenen Betriebe in großen Mengen gewonnen werden. Daß sie in großen Mengen gewonnen werden müssen, ist deshalb wichtig, weil bei dem etwas verwickelten Aufbau und dem dadurch verursachten höheren Preise der besprochenen Gaserzeuger erst bei größeren Leistungen (200 PS und darüber) der wirtschaftliche Vorteil des billigen Brennstoffes zur Geltung kommt.

Übrigens lassen sich solche Drehrost-Gaserzeuger mit geringen Abänderungen auch für alle anderen Arten von Brennstoffen — Braunkohle, ja sogar bituminöse Steinkohlen — einrichten, so daß sie infolge dieser vielseitigen Verwendbarkeit eine immer mehr zunehmende Verbreitung gefunden haben.

In das Gebiet der „Abfallerzeugnisse“ gehören eigentlich auch die Gichtgase und die Koksofengase. Da sie aber im engen Zusammenhange stehen mit der Entwicklung der Gasmaschine zur Großgasmaschine, sollen sie erst im nächsten Abschnitte etwas eingehender behandelt werden.

### Fünftes Kapitel:

#### Betrieb und Wirtschaftlichkeit der Sauggasanlagen.

Aus zahlreich angestellten Versuchen hat sich ergeben, daß der Wirkungsgrad des Gaserzeugers einer Sauggasanlage ein ganz vorzüglicher genannt werden muß. Dabei versteht man unter Wirkungsgrad das Verhältnis der in dem fertigen Kraftgase enthaltenen Wärmeeinheiten zu der Anzahl der Wärmeeinheiten, welche der für die Vergasung verwendete Brennstoff bei vollständiger Verbrennung liefern würde. Im Mittel kann man diesen Wirkungsgrad zu etwa 80% annehmen, es sind aber schon solche bis zu 85% und darüber durch Versuche nachgewiesen worden.

Neben guter Wärmeausnutzung besitzen Sauggasmaschinen eine Reihe von Vorzügen, welche in manchen Fällen für ihre Anschaffung entscheidend sein können. Hervorgehoben wurde schon oben (S. 16) die bestechende Einfachheit solcher Anlagen. Dementsprechend sind natürlich auch die Anlagekosten gering, und gerade wegen der großen Einfachheit werden Ausbesserungen nur in seltenen Fällen notwendig sein. Gegenüber Dampfmaschinen mit ihren Kesseln, die einer Reihe lästiger gesetzlicher Bestimmungen unterliegen und wegen ihrer Gefährlichkeit unter ständiger Bewachung stehen müssen, ist hervorzuheben die Ungefährlichkeit der Anlage, welche die Möglichkeit einer Explosion wie beim Dampfkessel ausschließt und zur Folge hat, daß Sauggasanlagen z. B. auch unter Räumen, die von Menschen bewohnt sind, also in Kellern u. dgl. aufgestellt werden dürfen, was bekanntlich bei Dampfkesseln nur in bestimmten Ausnahmefällen für Kessel von ganz geringen Leistungen gestattet ist.

Auch die Bedienung der Sauggasanlagen ist einfach. Sieht man ab von dem Zangansetzen des Gaserzeugers am Morgen sowie nach einer

etwaigen Betriebspause, so beschränkt sich die Bedienung der Anlage auf ein in Zeiträumen von je 1 ~ 2 Stunden notwendiges Auffschütten von Brennstoff und das täglich etwa 1—2 mal notwendige Entfernen der Schlacke und Asche, was übrigens meist während des Betriebes geschehen kann. Wichtig ist ferner das Fehlen eines Schornsteines und damit zusammenhängend das Fortfallen einer Belästigung der Umwohner durch Ruß und Rauch. Endlich wäre auch noch hervorzuheben, daß das Ingangsetzen der Anlage im Bedarfsfalle verhältnismäßig schnell erfolgen kann, da selbst, wenn der Gaserzeuger vollständig ausgeräumt wurde und erkaltet ist, die Anlage meist schon in etwa 1 Stunde betriebsbereit sein kann. Die Brennstoffkosten sind namentlich bei Verwendung von Braunkohle und den oben (S. 24) genannten minderwertigen Brennstoffen gering und betragen mitunter weniger als  $\frac{1}{2}$  Pfennig für die PS-st.

## Zweiter Abschnitt: Großgasmaschinen.

### Erstes Kapitel:

#### Entwicklung der Gasmaschine zur Großgasmaschine.

**Geschichtliches.** Es dürfte vielleicht befremdlich erscheinen, der Ausgestaltung der Gasmaschine als Großgasmaschine einen besonderen Abschnitt zu widmen, da es zunächst wohl nicht ersichtlich ist, warum dieselbe Gattung von Kraftmaschinen je nach der Größe der von ihr geforderten Leistungen wesentlich andere Eigenschaften besitzen sollte, zumal von einer solchen Unterscheidung z. B. bei Dampfmaschinen nur selten oder garnicht die Rede ist. Und doch zeigt schon die Entwicklungsgeschichte der Gasmaschine, daß es mit dieser Ausbildung als Großgasmaschine seine eigene Bewandnis haben muß. Daß die erste technisch wirklich brauchbare Gasmaschine — die Ottosche Viertaktmaschine vom Jahre 1878 — zunächst nur für kleinere Leistungen ausgeführt wurde, ist vielleicht nicht wunderbar, da ja gerade für kleinere Leistungen eine möglichst einfache, wirtschaftlich arbeitende Kraftmaschine ein schon seit längerer Zeit tief empfundenes Bedürfnis gewesen war, welches durch die technisch mit vielerlei Mängeln behaftete Gasmaschine von Lenoir (1860) sowie die sogenannte atmosphärische Gaskraftmaschine von Otto & Langen (1867) nicht befriedigt werden konnte.<sup>1)</sup>

1) Vgl. des Verf. „Neuere Wärmekraftmaschinen I“ (MuG Bd. 21).

Nachdem sich aber sehr bald die vorzüglichen Eigenschaften dieser neuen Ottoschen Gasmaschine herausgestellt hatten, lag der Gedanke nahe, diese Maschine auch für größere Leistungen auszuführen und zu versuchen, der Dampfmaschine auch auf diesem Gebiete in scharfem Wettbewerbe gegenüberzutreten.

Da aber stellten sich plötzlich kaum vorhergesehene Schwierigkeiten ein, und es bedurfte der Entwicklungszeit eines Vierteljahrhunderts, um aller dieser Schwierigkeiten Herr zu werden und die Gasmaschine so auszugestalten, daß sie nunmehr auch auf diesem von der Dampfmaschine lange und zähe verteidigten Gebiete als höchst gefährlicher und in einzelnen Fällen sogar schon unbedingt siegreicher Wettbewerber aufzutreten in der Lage ist. Noch im Jahre 1881 wurde eine 50 pferdige Gasmaschine der Deutzer Gasmotorenfabrik auf einer Ausstellung in München erheblich angestaunt. Im Jahre 1894 erregte die Bestellung einer 160 pferdigen Deutzer Gasmaschine von seiten des Baseler Wasserwerkes gewaltiges Aufsehen, und erst in den letzten Jahren des verfloßenen Jahrhunderts ging man dazu über, wirkliche Großgasmaschinen für Leistungen von mehreren hundert Pferdestärken zu erbauen.

**Schwierigkeiten beim Baue von Großgasmaschinen.** Welches waren nun die Schwierigkeiten, die sich dem Bau von Gasmaschinen größerer Leistung entgegenstellten? Da wäre zunächst zu beachten, daß ja infolge der eigentümlichen Wirkungsweise des Viertaktes, der sich noch dazu bei den ersten Gasmaschinen lediglich auf der einen Seite des Kolbens abspielte, bei zwei vollständigen Kurbelumdrehungen immer nur während eines Hubes Kraft auf die Maschinenwelle übertragen wurde, bei den anderen drei Hüben dagegen für das Ausstoßen der Verbrennungsgase, das Ansaugen und Verdichten des Ladungsgemisches ein Teil der eben erzeugten Arbeit in der Maschine selbst wieder verbraucht wurde. Anders dagegen bei der Dampfmaschine. Hier wird bei jedem Hube des Kolbens, also bei zwei vollständigen Kurbelumdrehungen viermal Kraft auf die Maschinenwelle übertragen, und wenn auch der auf den Kolben während eines solchen Krafthubes ausgeübte mittlere Druck bei der Gasmaschine infolge des andersgearteten Diagrammes in der Regel größer ist als bei der Dampfmaschine, so folgt doch aus dieser Betrachtung, daß für gleiche Leistung bei der mit einseitiger Kolbenwirkung arbeitenden Viertaktgasmaschine die Abmessungen der Maschine, d. h. Zylinderdurchmesser und Kolbenhub wesentlich größer ausfallen müssen als bei der Dampfmaschine.

**Schweres Triebwerk.** Diese großen Abmessungen ergeben aber infolge der hohen Pressungen, die in der Gasmaschine bei der Verpuffung des Gasgemisches eintreten, bedeutende Kräfte, die wiederum ein sehr schweres Gestänge notwendig machten. Erwägt man noch, daß auch das Schwungrad in Anbetracht der ungleichmäßigen Kraftäußerungen für einen gleichförmigen Gang der Maschine bei größerer Leistung sehr schwer ausfallen mußte, so ist leicht ersichtlich, daß als Folge der nur auf einer Kolbenseite sich abspielenden Viertaktwirkung bedeutende Reibungsverluste in der Maschine auftreten mußten, die nahezu 30% der in der Maschine erzeugten Arbeit betrogen.

**Einfluß der hohen Temperatur.** Waren das nun aber Übelstände, die sich durch die mit der Zeit immer mehr fortschreitende Werkstatt-Technik sehr wohl noch beherrschen ließen, so bot eine andere Eigentümlichkeit der Gasmaschine für die Ausführung großer Abmessungen bedeutende Schwierigkeiten, nämlich die während der Verpuffung des Gasgemisches im Innern des Zylinders auftretenden sehr hohen Temperaturen. Hat ein Würfel eine Seitenkante von der Länge 1 dm, so beträgt bekanntlich sein Inhalt  $1^3 = 1$  cdm, seine Oberfläche  $1^2 \cdot 6 = 6$  qdm. Nimmt man dagegen einen Würfel, dessen Seitenkante 2 dm lang ist, so ist sein Inhalt  $(2 \cdot 1)^3 = 2^3 = 8$  cdm, seine Oberfläche dagegen  $(2 \cdot 1)^2 \cdot 6 = 24$  qdm. Während also durch Vergrößerung der Seitenkante auf das Doppelte der früheren Länge die Oberfläche nur  $2^2 =$  viermal so groß geworden ist, ist der Inhalt  $2^3 =$  achtmal so groß geworden wie vorher. Ganz dasselbe ist nun bei den Kraftmaschinen der Fall. Während die inneren Zylinderwandungen bei zunehmenden Abmessungen sich nur in der zweiten Potenz vergrößern, vergrößert sich das Zylinder Volumen in der dritten Potenz, es wird also mit zunehmender Größe von Zylinderdurchmesser und Kolbenhub immer schwieriger, durch Kühlung der Zylinderwandungen vermittels noch so reichlichen Kühlwassers die Temperaturen im Innern des Zylinders auf ein erträgliches Maß herabzubringen.

Hier erkennt man recht deutlich den Unterschied zwischen Gasmaschine und Dampfmaschine. Bei der Dampfmaschine ist das Kraftmittel Wasserdampf, dessen Temperatur selbst bei hoher Überhitzung etwa  $350^\circ \text{C}$  in dem verhältnismäßig kleinen Hochdruckzylinder der Maschine nicht übersteigt, während die Temperatur in den bei großen Maschinen manchmal recht umfangreichen Niederdruckzylindern meist nicht über  $100^\circ \text{C}$  hinausgeht. Bei der Gasmaschine dagegen ist mit Temperaturen von

1800° C und darüber zu rechnen, und wenn es nun nicht gelingt, auch für große Leistungen die Zylinderabmessungen in bescheidenen Grenzen zu halten und so mit Hilfe energischer und zweckmäßiger Kühlung der Zylinderwände die Temperatur im Innern des Zylinders zu beherrschen, so können die an einzelnen Stellen auftretenden Temperaturerhöhungen sehr unbequeme Ausdehnungsbestrebungen und damit ein Verziehen einzelner Teile, ja selbst die gefährlichen Frühzündungen des angesaugten Ladungsgemisches zur Folge haben, so daß dadurch sowohl der Betrieb wie der ganze Bestand der Maschine ernstlich gefährdet werden kann.

Gerade durch die zuletzt angestellten Erwägungen dürfte es klar werden, warum die Ausführung von Großgasmaschinen auf Schwierigkeiten stieß. Man versuchte eben, die Verhältnisse und Bauarten, die sich bei Ausführung für kleinere Leistungen bewährt hatten, einfach ins große zu übertragen, und da sich hierbei die angeführten Übelstände herausstellten, glaubte man, daß die Gasmaschine überhaupt nicht für größere Kraftleistungen geeignet sei, und wandte, um doch einigermaßen große Leistungen zu erzielen, das Aushilfsmittel an, daß man mehrere kleinere Maschinen zu einer größeren Maschine zusammenstellte, wobei aber der Nachteil in Kauf genommen werden mußte, daß der ganze Aufbau der Maschine verwickelt und die Zugänglichkeit zu den einzelnen Teilen erschwert wurde.

**Anlässe zur Entwicklung der Großgasmaschine.** Den Hauptanstoß zu der Entwicklung der wirklichen Großgasmaschine gab die in der Mitte der 90er Jahre eintretende Erkenntnis, daß man in den aus dem oberen Teile der Hochöfen entweichenden Abgasen, den sog. Sichtgasen, ein zur unmittelbaren Krafterzeugung in Gasmaschinen vorzüglich geeignetes Gas in überreichlichem Maße zur Verfügung habe. Zwar wurde dieses Gas schon seit längerer Zeit außer zur Erhitzung der für den Hochofenbetrieb dienenden Gebläseluft auch dadurch zur Krafterzeugung verwendet, daß man es, mit Luft vermischt, unter Dampfkesseln verbrannte und so die Aufwendung besonderen Brennstoffes zum Betriebe der für das Hochofenwerk notwendigen Dampfmaschinen, namentlich der Gebläsemaschinen, ersparte; aber als man erkannte, daß dieses Gas trotz oder vielleicht gerade wegen seines geringen Heizwertes von nur etwa 900 bis 950 WE/cbm vorzüglich zur unmittelbaren Krafterzeugung in Gasmaschinen geeignet sei, ergab sich auch sehr bald, daß jenes Verbrennen des Gases unter Dampfkesseln eine große

Wärmevergeudung darstellte und daß bei unmittelbarer Verwendung des Gases als Kraftgas etwa das Zweiundeinhalb- bis Dreifache der bisher erzielten Leistung gleichsam kostenlos zur Verfügung stand.

So fand z. B. Professor E. Meyer bei seinen Versuchen, die er in Differdingen an solchen mit Gichtgas von 950 WE/cbm getriebenen Gasmaschinen anstellte, einen Verbrauch von 2,25 cbm Gichtgas für die PS-st, entsprechend einem Wärmeverbrauch von 2140 WE/PS-st. Nimmt man dagegen an, daß das Gas in vollkommener Weise unter Dampfkesseln verbrannt wird, daß der Wirkungsgrad der Dampfkesselanlage 70%, der Dampfverbrauch für die PS-st 6,5 kg und der Wärmebedarf zur Erzeugung von 1 kg Dampf rund 650 WE beträgt, dann hat man zur Erzeugung von 1 PS-st nötig eine Wärmemenge von  $6,5 \cdot 650 = 4225$  WE und folglich (da 1 cbm Gichtgas bei vollständiger Verbrennung unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Kessels  $0,7 \cdot 950 = 665$  WE im Dampfkessel zu erzeugen vermag) eine Gasmenge von  $\frac{4225}{0,7 \cdot 950} = 6,5$  cbm f. d. PS-st.

Mit anderen Worten: Bei unmittelbarer Verwendung des Gichtgases in Gasmaschinen verbraucht man nur  $\frac{2,25}{6,50}$ , d. h. etwa den dritten Teil des Gases, den man aufwenden müßte, um unter Zwischenschaltung von Dampfkessel und Dampfmaschine dieselbe Leistung zu erzielen.

Bedenkt man, daß für jede im Hochofen erzeugte Tonne Roheisen nach Abzug aller Verluste und der für Winderhitzung benötigten Gasmenge noch etwa 2500 cbm Gichtgas für Kraftzwecke zur Verfügung stehen, die nach den eben angestellten Berechnungen für die Erzeugung von etwa 1000 PS-st ausreichen, und daß ein mittelgroßer Hochofen täglich etwa 150 t Roheisen (größere 250 t, in Amerika sogar 500 t) zu erzeugen vermag, so ergibt sich, daß ein solches Hochofenwerk für jeden seiner Hochofen eine Kraftquelle zur Erzeugung von  $\frac{150 \cdot 1000}{24}$

= 6000 PS dauernd und fast möchte man sagen: kostenlos zur Verfügung hat. Da nun derartige Hüttenwerke schon für ihren eigenen Betrieb Maschinen von sehr großen Leistungen nötig haben, so ist es klar, daß durch diese ausgiebige und billige Quelle der Anstoß zum Bau von Gasmaschinen möglichst großer Leistung gegeben war.

**Koksosengase.** Was für die Hüttenwerke die Hochofengase sind, sind für die Kohlenzechen die Koksosengase, deren Ausnutzung zur Kraft-

erzeugung ebenfalls zur Entwicklung und raschen Verbreitung der Großgasmaschinen nicht unwesentlich beigetragen hat. Die Ausbeute der Koksöfen an Gas sowie der für Kräfteerzeugung verwendbare Überschuß schwankt je nach der Art der Öfen und Beschaffenheit der Kohle in ziemlich weiten Grenzen. Rechnet man den Heizwert des Koksogases im Mittel zu rund 4000 WE/cbm, den Wärmeverbrauch einer Koksogasmaschine zu 2200 WE/PS-st, so dürfte die Gasmenge, die für jede in 24 Stunden hergestellte Tonne Koks zur Kräfteerzeugung zur Verfügung steht, erfahrungsgemäß für eine Dauerleistung von etwa 10 PS ausreichen. Da nun Anlagen mit einer täglichen Erzeugung von 300 t Koks und darüber auf neuzeitlichen Kokereien nichts Seltenes sind, so ergäbe das für ein solches Werk eine dauernde Kraftleistung von etwa 3000 PS<sub>n</sub>.

Endlich war es auch noch ein anderes Ereignis, welches (ebenfalls um die Mitte der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts) einen mächtigen Anstoß zum Bau von Großgasmaschinen gab: das Auftreten der ersten großen für den Betrieb mit Gichtgasen gebauten Zweitaktmaschine nach dem System von Schelhäuser, und man hat wohl das Erscheinen dieser Maschine geradezu als den Ausgangspunkt sowohl für die Hochofengasverwertung wie für den Gasmaschinen-großbetrieb bezeichnet.

**Die verschiedenen Formen der Großgasmaschinen.** In rascher Aufeinanderfolge erschienen dann nach der Schelhäusermaschine die gewaltigen einfachwirkenden Viertaktmaschinen der Firma Cockerill in Seraing; die in Reihenordnung gebauten zweizylindrigen Maschinen mit einfachwirkendem Viertakt in jedem Zylinder: die doppelwirkende Zweitaktmaschine von Körting, an welche sich dann schließlich die doppelwirkenden Viertaktmaschinen angeschlossen.

Von den genannten Bauarten sind die großen Einzylindermaschinen mit einfachwirkendem Viertakt sowie die Schelhäusermaschine heute vom Markte verschwunden und sollen daher hier nicht näher besprochen werden. Die doppelwirkende Zweitaktmaschine von Körting findet in der Hauptsache nur noch Anwendung zum Betriebe von Gebläsen und Pumpen, wofür sie sich ihrer guten Regulierfähigkeit wegen besonders eignet. Für die größten Leistungen, namentlich zur Erzeugung elektrischer Energie auf großen Hüttenwerken und Zechen, kommt heute nur noch die doppelwirkende Viertaktmaschine in Frage, meist in der Form der Reihen- oder Zwillingreihenmaschine, mit welcher Leistungen bis zu 1500 PS in einem Zylinder, im Höchsthalle also etwa 6000 PS in einer Maschineneinheit erzielt werden können.

## Zweites Kapitel: Zweitaktmaschinen.

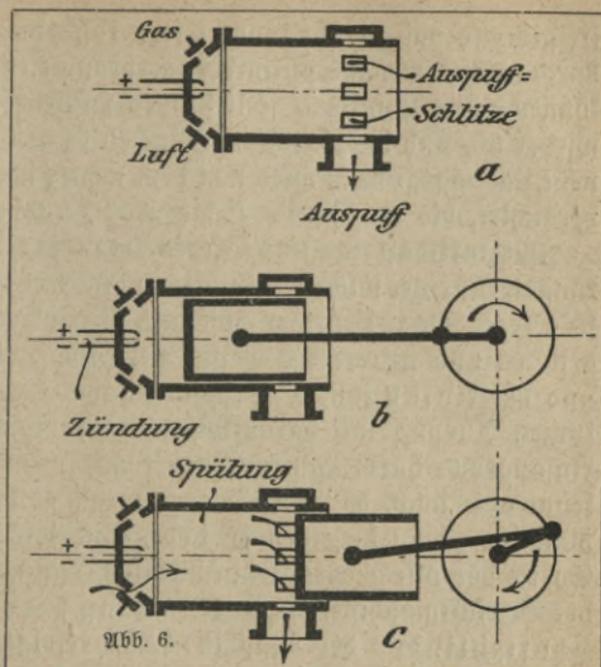
**Viertakt, Zweitakt, Eintakt.** Es kann als bekannt vorausgesetzt werden<sup>1)</sup>, daß der Viertakt in der Form, wie er in den ersten Gasmaschinen zur Wirkung kam, nämlich als sog. einfachwirkender Viertakt, eine Reihe von unleugbaren Übelständen zur Folge hatte, deren schlimmster wohl der war, daß sich für eine bestimmte Kraftleistung ein verhältnismäßig schweres Gestänge ergab, dessen Festigkeitseigenschaften bei dem Gange der Maschine nur unvollkommen ausgenutzt werden konnten, da eben immer für drei unter vier Kolbenhüben ein wesentlich leichteres Gestänge ausreichend gewesen wäre und somit durch das schwere Gestänge eine Verteuerung der Maschine und unnötige Reibungsverluste verursacht wurden.

Gelang es, die Wirkungsweise der Gasmaschinen so umzugestalten, daß bei jeder Umdrehung der Maschine oder, anders ausgedrückt, bei jedem Hin- und Hergange des Kolbens wenigstens einmal eine Verpuffung angesaugten Ladungsgemisches erfolgte, so mußte eine solche „Zweitaktmaschine“ theoretisch bei gleichen Abmessungen der Maschine die doppelte Leistung und eine doppelt so gute Gestängeausnutzung ergeben wie eine einfachwirkende Viertaktmaschine. Gelang es dann gar noch, einen solchen Zweitakt zu beiden Seiten des Maschinenkolbens zur Ausführung zu bringen, so daß also bei jedem Hube des Kolbens eine Verpuffung angesaugten Ladungsgemisches erfolgte, so war mit einer solchen „Eintaktmaschine“ theoretisch offenbar das Ideal einer Gasstrommaschine erreicht, da sie bei gleichen Zylinderabmessungen und gleichem Kolbenhub die vierfache Leistung und viermal so gute Gestängeausnutzung ergeben mußte wie eine einfachwirkende Viertaktmaschine.

**Arbeitsweise von Zweitaktmaschinen.** Die Schwierigkeit bei der Gasmaschine, den Zweitakt einzuführen, wurde in der Weise gelöst, daß der Maschinenkolben selber als Mittel zur Steuerung herangezogen wurde. Bei allen Zweitaktmaschinen, ganz gleichgültig welcher Bauart, erhält der Zylinder in entsprechender Entfernung von den Zylinderdeckeln Durchbrechungen („Auspuffschlitze“ Abb. 6 a), welche von dem stets verhältnismäßig langen Kolben auf dem größten Teile des Hubes verdeckt und erst am Ende des Hubes, wenn die Ausströmung beginnen soll, freigegeben werden (Abb. 6 c). Infolge der verhältnismäßig hohen Spannung — 3 bis 4 at —, welche die Gase im Augenblicke der Öff-

1) S. Anm. S. 26.

nung der Auspuffschlitze noch besitzen, strömen sie dann zum größten Teile selbsttätig mit großer Geschwindigkeit aus dem Zylinder heraus, während der Rest durch eingeleitete Preßluft („Spülluft“) aus dem Zylinder hinausgespült wird (Abb. 6c). Das Ausströmen und Ausspülen muß außerordentlich rasch vor sich gehen, da es ja in dem Augenblicke beendet sein muß, wo der rückkehrende Kolben die Auspuffschlitze wieder schließt.



Kurz vor und unmittelbar nach dem Abschlusse der Schlitze wird, ebenfalls in sehr kurzer Zeit, frisches Gasgemisch mit Hilfe besonderer Pumpen in den Zylinder hineingedrückt, von dem rückkehrenden Kolben verdichtet, worauf dann im Totpunkte die Zündung erfolgt (Abb. 6 b).

Die Füllung des Zylinders mit neuem, frischem Gasgemisch kann hier also nicht wie bei der Viertaktmaschine durch den Maschinenkolben selber erfolgen, vielmehr sind dazu eigene Vorrichtungen, d. h. Pumpen, notwendig, und so besitzen also sämtliche Zweitaktmaschinen, ganz gleichgültig welcher Bauart, folgende kennzeichnende Einrichtungen: erstens Auspuffschlitze an Stelle von Auslaßventilen, zweitens einen Kolben, dessen Länge nur wenig kürzer ist als sein Hub, und drittens je eine Pumpe für Luft und eine für Brennstoff.

Abb. 7 zeigt das kennzeichnende Diagramm einer Zweitaktmaschine. Nachdem im Punkte *P* die Zündung des verdichteten Gasgemisches stattgefunden hat und dadurch die Spannung mehr oder weniger plötzlich gestiegen ist, dehnen sich die Gase aus bis zum Punkte *m*, wo der Kolben, wie oben beschrieben, die Auslaßschlitze im Zylinder

Abb. 7.

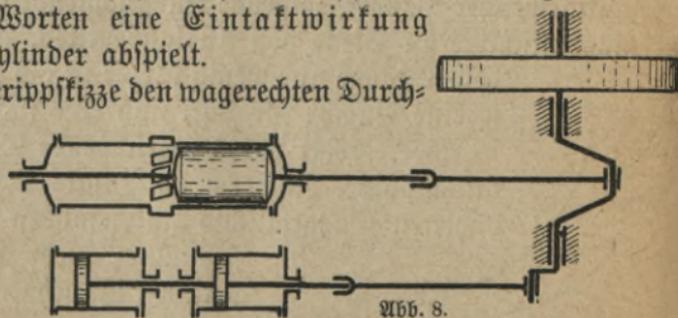
freigibt, so daß die Spannung sehr rasch bis zum Punkte  $n$  sinkt und durch nachströmende Spülluft die verbrannten Gase ausgetrieben werden können. Im Punkte  $o$  schließt der rückkehrende Kolben die Schlitze wieder ab, und das durch die Pumpen in den Zylinder hineingedrückte neue Ladungsgemisch wird von dem weiter nach links gehenden Kolben verdichtet, bis im Punkte  $P$  die neue Zündung erfolgt.

**Zweitaktmaschine und Viertaktmaschine.** Vergleicht man die Wirkungsweise einer solchen Zweitaktmaschine mit der einer Viertaktmaschine, so erkennt man, daß hier von dem Viertaktvorgange zwei Takte fortgefallen und in anderer Weise ersetzt sind, nämlich der Auspuffhub und der Ansaughub. Der Auspuffhub wird ersetzt durch den ganz kurzen Auspuff mit darauffolgender Auspülung des Zylinders, der Ansaughub durch Hineinpressen frischen Ladungsgemisches. Man erkennt aber auch, daß die übrigen Vorgänge im Zylinder der Zweitaktmaschine genau dieselben geblieben sind wie bei der Viertaktwirkung. So ist vor allem darauf hinzuweisen, daß auch hier, gerade so wie bei der Viertaktmaschine, die Verdichtung des Ladungsgemisches in dem Kraftzylinder der Maschine selbst erfolgt, da die geringe für das Hineinbringen des Ladungsgemisches in den Zylinder erforderliche und durch die oben erwähnten Pumpen bewirkte Pressung des Gases und der Luft (etwa 1,3—1,4 at Überdruck) während des Ladens fast vollständig verloren geht und somit für die eigentliche Verdichtung vor Eintritt der Zündung nicht in Betracht kommt.

### Drittes Kapitel: Die Zweitaktmaschine von Körting.

**Beschreibung der Maschine.** Die Zweitaktmaschine von Körting ist insofern bemerkenswert, als sich bei ihr ein doppelwirkender Zweitakt oder mit anderen Worten eine Eintaktwirkung in einem einzigen Zylinder abspielt.

Abb. 8 zeigt als Gerippsskizze den wagerechten Durchschnitt durch eine solche Maschine. Wie man sieht, besteht die Maschine im wesentlichen aus dem Kraftzylinder, in welchem sich ein Kolben bewegt, dessen Länge ungefähr gleich seinem Hube ist. Neben dem Zylinder befinden sich zwei doppel wirkende Pumpen, von



denen die eine nur Luft, die andere nur Gas, wie oben beschrieben, in die Maschine hineinpreßt. Für das Einlassen von Luft und Gas besitzt der Kraftzylinder an beiden Enden besondere, von der Steuerwelle der Maschine betätigte Einlaßventile, die sich auf der oberen Seite des Zylinders befinden und daher in dem dargestellten Schnitte nicht sichtbar sind.

**Die Wirkungsweise der Körtingmaschine** ist nun folgende: In der gezeichneten Stellung hat der Kolben seine vordere Totpunktlage erreicht und dabei auf der vorderen (in der Abbildung rechten) Zylinderseite das dort befindliche frische Ladungsgemisch verdichtet. Die in diesem Augenblicke durch elektrische Zündung eintretende Verpuffung treibt den Kolben nach links, wobei die Verbrennungsgase sich so lange ausdehnen, bis die rechte Kolbenkante die in der Mitte des Zylinders sichtbaren Auspuffschlitze freilegt. In diesem Augenblicke treten die immer noch hochgespannten Gase mit großer Gewalt in das Auspuffrohr, verlieren dadurch an Spannung, und kurz darauf öffnet sich das rechte (in der oberen Zylinderhälfte befindliche und darum in der Abbildung nicht sichtbare) Einlaßventil, durch welches zunächst nur Spülluft in den Zylinder eintritt, um, wie oben beschrieben, die Verbrennungsgase vollständig aus dem Zylinder hinauszudrängen. Kurz darauf tritt, während die rechte Kante des rückkehrenden Kolbens allmählich die Auspuffschlitze abschließt, durch dasselbe Ventil Gas, mit jener Luft vermischt, in den Zylinder ein, das Einlaßventil schließt sich, und das auf der rechten Zylinderseite befindliche Ladungsgemisch wird nun von dem rückkehrenden Kolben verdichtet, worauf im vorderen Totpunkte die Zündung eintritt und dasselbe Spiel sich erneuert.

Es dürfte aus der Abbildung ohne weiteres ersichtlich sein, daß sich genau dieselben Vorgänge, nur gegen die rechte Seite des Kolbens um etwas verschoben, auf der linken Kolbenseite abspielen. Während rechts Verdichtung und Zündung vor sich gehen, finden auf der linken Seite Ausdehnung und Auspuff der Verbrennungsgase statt, und da sich somit auf jeder der zwei Seiten des Kolbens bei jeder Kurbelumdrehung ein solches Diagramm abspielt, wie es oben beschrieben wurde, ist in der Maschine von Körting, ganz ähnlich wie bei einer doppelwirkenden Dampfmaschine, ein doppelwirkender Zweitakt, das heißt eine Eintaktwirkung in einem Zylinder erreicht.

**Vorteile und Nachteile der Körtingmaschine.** Was nun die Eigenschaften der Körtingmaschine betrifft, so ist ja zunächst nicht zu leugnen, daß diese Maschine der einfachen Viertaktmaschine gegenüber ge-

wisse schon früher erwähnte Vorzüge besitzt, von denen die größere Gleichförmigkeit des Ganges sowie die bessere Ausnutzung des Gestänges noch einmal hervorzuheben wären. Auch die Abmessungen des Zylinders werden für gleiche Leistungen zwar kleiner als die Abmessungen einer einfachwirkenden Viertaktmaschine, jedoch ist zu beachten, daß diese Abmessungen nicht etwa so klein werden, als dies nach den früheren Erörterungen (S. 32) theoretisch der Fall sein sollte. Stimmt das von dem Kolben zurückgelegte Hubvolumen bei beiden Maschinengattungen überein, so würde bei gleicher Umdrehzahl und gleich großem Diagramm die Leistung der doppeltwirkenden Zweitaktmaschine theoretisch viermal so groß sein als bei der einfachwirkenden Viertaktmaschine. Das ist nun aber nicht der Fall. Verfolgt man nämlich zunächst den Ladevorgang bei der Zweitaktmaschine, so erkennt man, daß es sehr schwierig sein wird, Größe und Anordnung der Auspuffschlitze  $a$  gerade so auszuführen, daß das hinter den Auspuffgasen und der Spülluft in den Zylinder eintretende frische Gas nicht ebenfalls zum Teil aus den Auspuffschlitzen entweicht und so zu Gasverlusten und damit zu unwirtschaftlichem Arbeiten Anlaß gibt. Und dies hat zur Folge, daß das Diagramm in der Regel etwas kleiner ausfällt als das gleich großer Viertaktmaschinen.

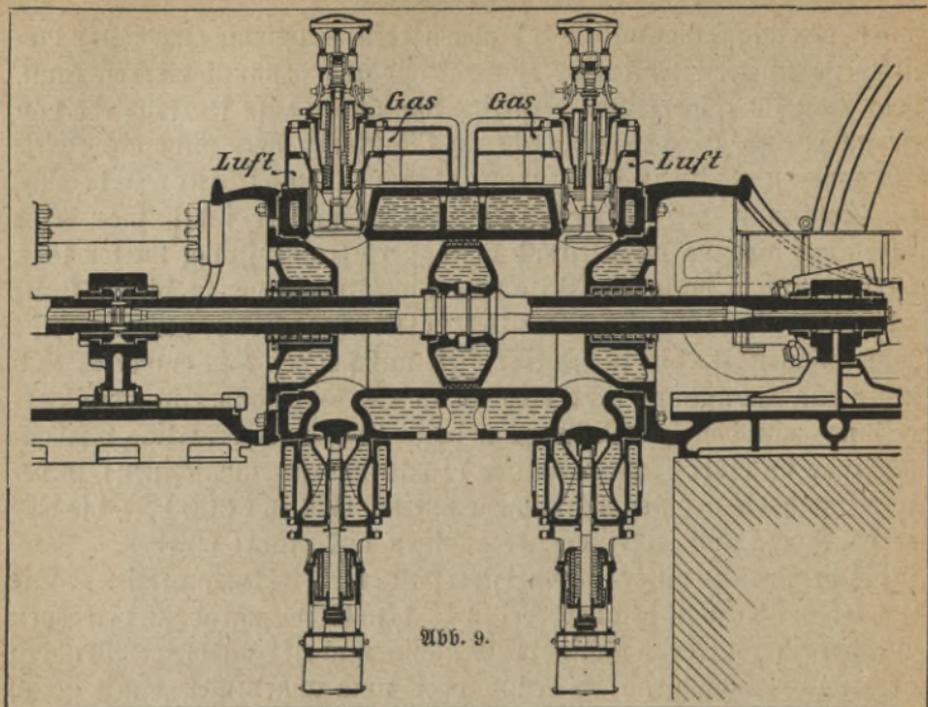
Erwägt man ferner, daß der Betrieb der Spül- und Ladepumpen und das Hineinbringen der Luft- und Gasmen gen in den Zylinder nicht unerhebliche Reibungs- und sonstige Arbeitsverluste zur Folge hat, so wird es erklärlich erscheinen, daß die Leistung der Körtingmaschine, die theoretisch viermal so groß sein sollte als die Leistung einer mit gleichen Abmessungen ausgeführten einfachwirkenden Viertaktmaschine, in Wirklichkeit um ein Beträchtliches hinter dieser theoretischen Leistung zurückbleibt.

#### Viertes Kapitel: Die doppeltwirkende Viertaktmaschine.

**Die Viertaktmaschine als Zweitakt- und Eintaktmaschine.** Es war absichtlich in den vorhergehenden Kapiteln stets darauf hingewiesen worden, welche Nachteile der einfachwirkende Viertakt, also die Wirkungsweise der ersten kleinen Viertaktgasmaschinen, gegenüber den eben beschriebenen Zweitakt- und Eintaktmaschinen besitzt. Fast alle die im vorhergehenden (S. 32) aufgeführten Übelstände verschwinden nämlich, wenn man die einfachwirkende Viertaktmaschine dadurch zur Zweitaktmaschine macht, daß man einen solchen regelrechten Viertakt sich nicht bloß auf einer, sondern unter entsprechender Verschiebung auf beiden

Seiten des Maschinenkolbens abspielen läßt. Obgleich eine solche Arbeitsweise unzweifelhaft eine Zweitaktwirkung genannt werden kann, pflegt man im allgemeinen derartige Maschinen zum Unterschiede von den im vorhergehenden besprochenen Maschinen doch nicht als Zweitakt-, sondern als doppeltwirkende Viertaktmaschinen zu bezeichnen. Setzt man zwei solcher Zylinder hintereinander, indem man beide Kolben auf dieselbe, entsprechend verlängerte Kolbenstange wirken läßt, so ergibt sich in einfacher Weise eine Eintaktmaschine, in diesem Falle auch doppeltwirkende Viertaktreihenmaschine genannt, eine Gasmaschinenart, die in neuerer Zeit auf großen Hüttenwerken und Zechen zur Ausnutzung der Hochofen- und Koksofengase eine weite Verbreitung gefunden hat. Läßt man dann noch zwei derartige Reihenmaschinen an einer Welle angreifen (Zwillingsreihenmaschinen), so bekommt man die größten Maschineneinheiten (bis zu 6000 PS), die bisher bei Hoch- und Koksofengasmaschinen ausgeführt wurden.

**Beschreibung einer doppeltwirkenden Viertaktmaschine.** Die Abb. 9 (S. 38) stellt den vorderen, nach dem Schwungrade zu gelegenen Zylinder einer Reihenmaschine der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg dar. Das Schwungrad ist rechts oben noch angedeutet, einen gleich großen Zylinder muß man sich links als Fortsetzung der Abbildung denken. Man erkennt zunächst ganz allgemein, daß die Maschine sich auf den ersten Blick fast gar nicht von einer gewöhnlichen doppeltwirkenden Ventildampfmaschine unterscheidet. In der oberen Hälfte des Zylinders befinden sich die beiden Einlaßventile, in der unteren die beiden Auslaßventile. Ganz oben auf dem Zylinder sind ferner die beiden Kanäle sichtbar, durch welche Luft und Gas den Ventilen zugeleitet werden. Die Ventile sind so gebaut, daß sie in geschlossenem Zustande die Kanäle für Luft und Gas abschließen. Werden sie durch die Steuerung nach unten gedrückt, also geöffnet, so öffnen sie auch, und zwar gleichzeitig, die Kanäle für Gas und Luft, so daß also ein durch das Verhältnis der Kanalöffnungen bestimmtes Gasgemisch in den Zylinder eintritt. Bemerkenswert ist, daß hier (wie übrigens auch bei der Körtingmaschine) der Kolben sowohl wie die Kolbenstange von Kühlwasser durchflossen werden. Das Kühlwasser wird bei dem einen Kreuzkopf — bei Reihenmaschinen ist es in der Regel der mittlere — zugeleitet, durchströmt Kolbenstange und Kolben und fließt dann durch die andere Kolbenstange und den zweiten Kreuzkopf wieder ab. Bei einfachwirkenden Viertaktmaschinen, die ja in der Regel nur für kleine



Leistungen gebaut werden, ist eine solche Kolbenkühlung überflüssig, da ja hier die eine Kolbenseite mit der Außenluft ständig in Berührung bleibt und so bei der schnellen Bewegung des Kolbens in ausreichender Weise gekühlt wird.

**Arbeitsweise und Regulierung der Maschine.** Geht der Kolben von der linken Endlage nach rechts, so wird durch einen in der Abbildung nicht sichtbaren Hebel das links oben befindliche Einlaßventil geöffnet und so lange offen gehalten, bis der Kolben in der Nähe der rechten Endlage angekommen ist. Dann wird das Einlaßventil geschlossen, der Kolben geht wieder nach links und verdichtet dabei das Gasgemisch, bis in der Nähe der linken Endlage die Zündung des Gemisches — auf elektrischem Wege — eintritt, wodurch der Kolben nach rechts getrieben wird (Arbeitshub!). Ist dann die rechte Endlage wieder erreicht, so wird von der Steuerung das Auslaßventil geöffnet, durch welches die verbrannten Gase von dem rückkehrenden Kolben ins Freie ausgestoßen werden. Genau derselbe Vorgang, nur in entsprechender Weise gegen die linke Seite verschoben, spielt sich natürlich auf der rechten Kolbenseite ab.

Was die Regelung der Umdrehzahl bei wachsender Leistung betrifft, so findet eine solche meist in Form einer Mengenregelung statt, manchmal in Verbindung mit einer Gemischregelung. Näheres über diese Regulierungsarten s. des Verf. „Neuere Wärmekraftmaschinen I“ (MNuG Bd. 21.)

Eine eigentümliche, wenig angenehme Eigenschaft der Gasmaschine ist bekanntlich die, daß sie nicht überlastet werden kann, da sie im Falle einer solchen Überlastung sehr bald stehenbleibt. Um nun doch eine über dieses Maß hinausgehende Leistung erzielen zu können, wird z. B. von Ehrhardt & Schmer, Saarbrücken, die Einrichtung getroffen, daß während des Ansaugabschnittes Luft sowohl wie Gas schon in vorverdichtetem Zustande in den Zylinder hineingedrückt werden, wodurch eine Leistungssteigerung bis zu 40% erzielt wird. Allerdings erhöhen sich dadurch auch die Anlagekosten infolge der zum Verdichten von Gas und Luft notwendigen Verdichtungsmaschinen.

Der Antrieb dieser Turbogebläse (s. des Verf. „Hebezeuge“, [MNuG Bd. 196]) geschieht entweder elektrisch oder durch Dampfturbinen, wobei der dazu erforderliche Dampf durch Ausnutzung der Gasmaschinenabwärme gewonnen wird.

**Vorteile der doppeltwirkenden Viertaktmaschine.** Der am meisten in die Augen springende Vorteil der doppeltwirkenden Viertaktmaschinen gegenüber den früher besprochenen Zweitakt- und Eintaktmaschinen ergibt sich aus dem Fortfall jeder Art von Spül- und Ladepumpen, wodurch nicht nur die ganze Bauweise der Maschine vereinfacht sondern auch infolge des Fortfalles der Pumpenwiderstände und durch die wesentlich verringerten Reibungsverluste der mechanische Wirkungsgrad der Maschine so erheblich verbessert wird, daß er bei neueren besten Maschinen dieser Art bis zu 85% und darüber beträgt. Der Fortfall der Ladepumpen und die dadurch bewirkte Einfachheit der Bauart ist naturgemäß auch für die Betriebssicherheit von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Ist es doch sogar in Notfällen bei Schadhastwerden von Steuerungssteilen oder dergleichen möglich, die eine oder andere Zylinderseite auszuschalten und die Maschine nur mit einer Kolbenseite zu betreiben. Bei der Körtingmaschine dagegen sind, wie ja überhaupt bei jeder Zweitaktmaschine, außer dem Kraftzylinder auch noch die Ladepumpen vorhanden, deren Betriebsbereitschaft für die ganze Maschine von ausschlaggebender Bedeutung ist, da ja z. B. ein Unfall an diesen Pumpen ein Stillsetzen der ganzen Maschine zur Folge haben muß.

Vergleicht man ferner die im Eintakt arbeitende Rörtingmaschine mit der ebenfalls im Eintakt arbeitenden zweizylindrigen doppelwirkenden Viertaktmaschine, so tritt bei der Viertaktmaschine als weiteres Vorteil der vollkommeneren Ladevorgang hinzu, und wenn man erwägt, wie groß schon die Abmessungen des einen Kraftzylinders bei der Rörtingmaschine infolge des sehr langen Kolbens werden, und daß außerdem zu dem einen Kraftzylinder noch zwei für den Betrieb der Maschine unumgänglich nötige Pumpenzylinder mit ihren Steuerungen auszuführen sind, so dürfte die Rörtingmaschine (mit ihrem einen großen Kraftzylinder) jener (insgesamt nur zwei kleinere Zylinder besitzenden) doppelwirkenden Viertaktmaschine gegenüber kaum im Vorteil sein. Einen Nachteil der Viertaktmaschine bilden die Auslaßventile. Bei der Rörtingmaschine, wie überhaupt bei jeder Zweitaktmaschine, besteht ja, wie aus den früheren Beschreibungen hervorgeht, die Vorrichtung, vermittelst derer die heißen Verbrennungsgase aus dem Zylinder herausgelassen werden, aus einem Kranz von Schlitzen, welche in der Wandung des Zylinders untergebracht sind und durch den Kolben der Maschine selbst geöffnet und geschlossen werden. Bei den Viertaktmaschinen dagegen geschieht dieses Herauslassen der heißen Verbrennungsgase durch Ventile. Infolge der hohen Temperatur dieser Gase (500° C und darüber) muß gerade hier an den Auslaßventilen eine gute Wasserkühlung vorhanden sein, da sonst ein Festbrennen der Ventile und damit eine Betriebsstörung unvermeidlich ist. Erwägt man nun, daß eine doppelwirkende Viertaktreihenmaschine (nur eine solche kann des erforderlichen Eintaktes wegen mit einer Rörtingmaschine verglichen werden) vier solcher Auslaßventile besitzt, die noch dazu aus baulichen Rücksichten meist unterhalb der Maschine, also an einer nicht leicht zugänglichen Stelle angebracht sind, so wird man dies als einen nicht unerheblichen Nachteil der doppelwirkenden Viertaktmaschine gegenüber der Rörtingmaschine anerkennen müssen.

**Entwicklung der doppelwirkenden Viertaktmaschine.** Betrachtet man die vielfachen Vorteile der doppelwirkenden Viertaktmaschinen insbesondere für die Ausbildung als Großgasmaschinen, so liegt die Frage nahe, warum man diesen bei der großen Verbreitung und hohen Entwicklung der doppelwirkenden Dampfmaschine so naheliegenden Gedanken nicht schon viel früher zur Ausführung gebracht hat. Der Hauptgrund liegt wohl darin, daß man zunächst immer versuchte, die für eine möglichst billige Herstellung zweckmäßige und für kleinere Leistungen

auch völlig ausreichende Bauweise der ersten Viertaktgasmaschinen, die sich in jahrelangen Betrieben als durchaus zuverlässig bewiesen hatte, auch für den Bau von Großgasmaschinen zu verwenden. Das mußte aber, infolge des einfachwirkenden Viertaktes, für größere Leistungen auf gewaltige Abmessungen von Zylindern und Triebwerken führen, was wiederum große Schwierigkeiten für Bau und Betrieb zur Folge hatte. Diese Schwierigkeiten glaubte man nur durch Übergang vom Viertakt zum Zweitakt überwinden zu können, weil theoretisch ja eine Maschine mit gleich großem Zylinderdurchmesser und gleich großem Kolbenhub als Zweitaktmaschine doppelt so viel leisten mußte wie als einfachwirkende Viertaktmaschine. Es wurde früher (S. 36) gezeigt, daß das in Wirklichkeit nicht der Fall ist.

Außerdem scheute man sich anfänglich davor, Stopfbüchsen auszuführen, da man solche bei den hohen in der Gasmaschine vorkommenden Temperaturen nicht für genügend betriebssicher ansah und die ersten Versuche zur Anwendung von Stopfbüchsen infolge unzureichender Bauart fehlschlügen. Auch die für doppeltwirkende Maschinen unbedingt nötige Kühlung des Kolbens bereitete anfänglich Schwierigkeiten, die wohl zuerst von Körting in seiner zwar nicht in den Handel gelangten, aber in der Fabrik jahrelang betriebenen ersten doppeltwirkenden Viertaktmaschine überwunden wurden.

#### Fünftes Kapitel: Wirtschaftliche Bedeutung und Betrieb der Großgasmaschinen.

**Großgasmaschine und Großdampfmaschine.** Die im vorhergehenden geschilderten Anstrengungen, die von allen Seiten gemacht wurden, um die Gasmaschine, deren theoretische Überlegenheit über die Dampfmaschine schon längst erkannt war, auch in betriebstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht auf eine möglichst hohe Stufe der Vollkommenheit zu bringen, haben heute schon mehrfach zu großartigen Erfolgen geführt. Zunächst ist es ja immer wieder die wesentlich bessere Wärmeausnutzung, welche der Gasmaschine, ganz gleichgültig in welcher Gestaltung, einen Vorsprung gegenüber ihrer heftigen Wettbewerberin, der Dampfmaschine, verleiht, denn während selbst die vollkommensten Dampfmaschinen etwa 0,6 kg Kohle, d. h. rund 4500 WE zur Erzeugung einer PS<sub>n</sub>-st brauchen, ist man bei besten Großgasmaschinen heute schon bis auf einen Gasverbrauch heruntergekommen, der einem Wärmeverbrauch von 2000 und noch weniger WE/PS<sub>n</sub>-st

entspricht. Erwägt man, daß nach dem ersten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie 1 PS-st einer Wärmemenge von  $\frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{427} = 632$  WE gleichwertig ist, so würden jene 4500 WE einer Ausnutzung der in den Kohlen zugeführten Wärme von

$$\frac{632}{4500} \cdot 100 = \sim 14\%$$

entsprechen, gegenüber einer Wärmeausnutzung von

$$\frac{632}{2000} \cdot 100 = \sim 32\%$$

bei der Gasmaschine.

**Wirtschaftliche Bedeutung der Hochofen- und Koksofengasmaschinen.** Diese wärmetechnische Überlegenheit der Gasmaschine wird natürlich ganz besonders da zur Geltung kommen, wo für Dampfmaschine sowohl wie für Gasmaschine ein und dieselbe Wärmequelle in Frage kommt, und dies ist vornehmlich der Fall auf Hüttenwerken und Kohlenzechen, die daher augenblicklich auch das Hauptanwendungsgebiet der Gasmaschinen bilden, und zwar, bei dem bedeutenden Kraftbedarfe der genannten Unternehmungen, hauptsächlich in der Gestalt der sogenannten Großgasmaschinen. Eine vergleichende Rechnung für die Verwertung der Hochofengase in Gasmaschinen und Dampfmaschinen wurde schon früher (S. 30) gegeben. Daß für die Koksofengase die Verhältnisse ganz ähnlich liegen, bedarf wohl kaum einer Erwähnung. Welche wirtschaftliche Bedeutung diese bessere Ausnutzung der Hochofengase und Koksofengase allein schon für Deutschland besitzt, ersieht man aus folgender Berechnung: Die jährliche Roheisenerzeugung in Deutschland betrug vor dem Kriege über 19 000 000 t, entsprechend einer Ausbeute an Gichtgas, welche nach den früheren Berechnungen (s. S. 30) ausreichen würde zur dauernden Erzeugung von

$$\frac{19\,000\,000}{365 \cdot 24} \cdot 1000 = \sim 2\,200\,000 \text{ PS.}$$

Die jährliche Kokserzeugung in Deutschland betrug vor dem Kriege etwa 26 000 000 t, entsprechend (nach unseren auf S. 31 angestellten Berechnungen) der Möglichkeit einer dauernden Krafterzeugung von

$$\frac{26\,000\,000}{365} \cdot 10 = \sim 700\,000 \text{ PS.}$$

Da man bei Verbrennung der genannten Gase unter Dampfkesseln, wie wir früher gesehen hatten, nur etwa  $\frac{1}{3}$  der Leistung zu erzielen vermag, so ergäbe die ausschließliche Ausnutzung der Gicht- und Koks-

ofengase in Großgasmaschinen einen sozusagen kostenlosen Gewinn von 2 000 000 PS.

Weniger günstig liegen natürlich die Verhältnisse für Gasmaschinen dann, wenn auch für sie erst der Energieträger, in diesem Falle das Gas, in besonderen Erzeugern irgendwelcher Art hergestellt werden muß, da in diesem Falle noch die in den Gaserzeugern eintretenden Wärmeverluste hinzukommen. Aber da der Wirkungsgrad der Gas-erzeuger, wie früher (S. 25) gezeigt wurde, im allgemeinen verhältnismäßig hoch ist, so wird auch in diesem Falle die Großgasmaschine sehr häufig mit der Dampfmaschine in Wettbewerb treten können, namentlich dann, wenn für die Herstellung des Kraftgases minderwertige Brennstoffe verwendet werden können. Allgemein gültige Angaben lassen sich allerdings dafür nicht geben, vielmehr wird es immer von den jeweiligen Verhältnissen abhängen, ob in dem betreffenden Falle die Gasmaschine oder die Dampfmaschine als die wirtschaftlichere Kraftmaschine anzusehen ist.

**Betrieb der Großgasmaschinen.** Ist nun die wärmetechnische Überlegenheit der Gasmaschine über die Dampfmaschine erwiesen, so fragt es sich, ob auch in betriebstechnischer Hinsicht die Großgasmaschine, namentlich in der Gestalt als Hochofen- oder Koks-ofengasmaschine, auf gleicher Höhe steht wie die hochentwickelte Großdampfmaschine. Die meisten Schwierigkeiten bereitete dabei anfänglich die Unreinheit der in Betracht kommenden Gase, der sogenannte Sichtstaub der Hochofengase, die Teerbestandteile und der Schwefelgehalt der Koks-ofengase. Nachdem es aber gelungen ist, dieser Schwierigkeiten in vollkommener Weise Herr zu werden, so daß es z. B. jetzt möglich ist, den Staubgehalt des Sichtgases bis auf 0,001 g im Kubikmeter, ja selbst noch weiter herunterzubringen und auch das Koks-ofengas in jeder gewünschten Reinheit herzustellen, kann in dieser Hinsicht der Gasmaschine ein Vorwurf nicht mehr gemacht werden.

Auch der Bedarf an Schmieröl, einst der wundeste Punkt aller Gasmaschinenbetriebe, ist in neuester Zeit durch zweckentsprechende Ausbildung der Maschinen und der zur Schmierung benötigten Vorrichtungen auf ein so geringes Maß gebracht worden, daß ein Unterschied zwischen Gasmaschine und einer namentlich mit Heißdampf betriebenen Dampfmaschine in dieser Hinsicht heute nicht mehr besteht. Er beträgt unter Voraussetzung eines gut gereinigten Gases im durchschnittlichen Dauerbetriebe nicht mehr als etwa 1—2 g für eine PS-st.

Der Bedarf an Kühlwasser spielt allerdings eine nicht unbedeutende Rolle, da bei einer Zuflußtemperatur von  $15^{\circ}$  etwa 35 lit/PS<sub>n</sub>-st erforderlich sind. Jedoch ist zu beachten, daß der eigentliche Wasserverbrauch ein sehr geringer ist, da ja das Kühlwasser bei Aufstellung von Rückkühlwerken immer wieder benutzt werden kann, so daß nur die dabei unvermeidlichen Verluste zu ersetzen sind, die etwa 2 ~ 2,5 lit/PS<sub>n</sub>-st betragen.

In einigen Punkten freilich sind auch die bisher besprochenen Großgasmaschinen der Dampfmaschine unter allen Umständen bis jetzt wenigstens unterlegen, und es scheint fast so, als ob sie darin auch stets unterlegen bleiben werden. Die wichtigsten Punkte sind: rascheres Sinken des Wirkungsgrades und infolge davon rascheres Ansteigen des Wärmeverbrauches bei abnehmender Leistung; die Unfähigkeit, unter Belastung anzulaufen, sowie endlich die Unmöglichkeit, die Maschine je nach Bedarf vorwärts oder rückwärts laufen zu lassen.

Über das Sinken des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung wurde bereits früher gesprochen. Bei Hochofen- und Koksofengasmaschinen kann man im Mittel annehmen, daß der Wärmeverbrauch bei  $\frac{3}{4}$  der Belastung um etwa 8 ~ 10%, bei halber Belastung um etwa 30% ansteigt.

Das Anlassen einer Großgasmaschine bietet zwar unter Verwendung von Druckluft bei zweckmäßiger Bauart der Anlaßvorrichtungen in der Regel weniger Schwierigkeiten als das Anlassen großer Dampfmaschinen, bei denen dem Anlassen ein stundenlanges Anwärmen vorhergehen muß; der Übelstand ist eben nur der, daß die Gasmaschine als solche nicht unter voller Belastung anlaufen kann, was, gerade so wie der an dritter Stelle genannte Übelstand, die Unmöglichkeit der Umsteuerbarkeit, unter anderem ein Hindernis bietet, die Gasmaschine zum unmittelbaren Antriebe von Fördervorrichtungen sowie zum unmittelbaren Antriebe schwerer Walzwerke verwenden zu können.

Die Folge davon ist, daß auf den Hüttenwerken und Kohlenzechen die Großgasmaschinen hauptsächlich zum Antriebe von Dynamomaschinen, Gebläsen für Hochofen- und Stahlwerke, in neuerer Zeit auch für den Betrieb der sogenannten Feinstrecken der Walzwerke verwendet werden. Aber gerade die vorzügliche Verwendbarkeit der Großgasmaschine zum Antriebe von Dynamomaschinen hat zur Verbreitung der wirtschaftliche und auch sonst mannigfache Vorteile bietenden elektrischen Kraftverteilung auf Hüttenwerken und Kohlenzechen sehr viel

beigetragen, und es konnte auf diese Weise erreicht werden, daß man nunmehr imstande ist, durch Zwischenschaltung elektrischer Energie auch schwere Walzwerke und Fördervorrichtungen, ja überhaupt jede beliebig gestaltete Hilfsmaschine mit Hilfe der Gasmaschine als Kraftquelle anzutreiben.

### Dritter Abschnitt:

#### Die neuere Entwicklung der Dieselmotoren.

Während auf dem Gebiete der Verpuffungsgasmaschinen die letzten Jahre nur insofern wesentlich Neues gebracht haben, als die Erzeugung von Kraftgas aus allen möglichen, namentlich minderwertigen Brennstoffen einen hohen Grad der Vollkommenheit erreicht hat, ist die bekanntlich<sup>1)</sup> auf einem anderen Grundgedanken beruhende Dieselmotore zu immer größerer Bedeutung gelangt, und zwar einmal durch die Anpassung der Maschine an den Betrieb mit billigen Treibölen, ferner durch die Umgestaltung der Arbeitsweise zu gewissen Zwecken und endlich durch die weitere bauliche Ausbildung, insbesondere zu einer Maschine mit der Möglichkeit unmittelbarer Umsteuerung.

#### Erstes Kapitel: Die Verwendung billiger Brennstoffe.

Das Antriebsmittel für Dieselmotoren war anfänglich in der Hauptsache Petroleum. Wenn nun auch bei der vorzüglichen Wärmeausnutzung in der Dieselmotore der Brennstoffverbrauch ein verhältnismäßig geringer war, so wurde es doch in Deutschland, dem Geburtslande der Dieselmotore, als ein großer Übelstand empfunden, daß man mit dem Bezug des Brennstoffes im wesentlichen auf das Ausland angewiesen war. Man suchte daher nach Brennstoffen, die im Inlande gewonnen wurden, und fand als solche die durch Destillation der Braunkohle gewonnenen Öle, Solaröl und Paraffinöl, welche bei wesentlich billigerem Preise das Petroleum vollständig zu ersetzen imstande waren. Da die Dieselmotore bekanntlich auch sonst vortreffliche Eigenschaften vor anderen Gasmaschinen voraus hat, wurde ihre Verbreitung zwar zunehmend größer, doch stellte sich dadurch allmählich wieder der Übelstand ein, daß gerade infolge der großen Nachfrage der Preis für die genannten Öle bedenklich in die Höhe ging.

1) S. des Verf. „Neuere Wärmekraftmaschinen I“ (MKG Bd. 21).

Man griff daher vielfach wieder auf ausländische Stoffe zurück, wie z. B. die galizischen Erdöle, welche in Deutschland bis zum Ausbruche des Krieges vielfach zum Antriebe von Dieselmotoren verwendet wurden, da ihr Preis trotz hohen Zolles immer noch niedriger war als die im Inlande gewonnenen Öle der Braunkohlendestillation. Inzwischen war es aber gelungen, für Dieselmotoren die Verwendbarkeit eines anderen Brennstoffes nachzuweisen, welcher bisher ein wenig verwertbares Abfallerzeugnis der Steinkohlendestillation (bei der Herstellung des Kaffees) bildete, nunmehr aber berufen erscheint, eine weitere große Ausbreitung der Dieselmotore zur Folge zu haben. Es ist dies das Steinkohlenteeröl und in neuester Zeit auch der gewöhnliche Teer. Wie wichtig es ist, damit einen Brennstoff zu haben, der in großen Mengen im Inlande gewonnen wird, hat der gegenwärtige Krieg gezeigt. Die Menge des in Deutschland erzeugten Steinkohlenteeröles wurde für das Jahr 1911 auf etwa 450 000 t (1 t = 1000 kg) geschätzt, wobei der Preis für die Tonne etwa 38 *M* betrug gegenüber etwa 75 *M* für ausländische Gasöle und 100 *M* für inländische Paraffin- oder Solaröle. Da von diesen letztgenannten Ölen in Deutschland vor dem Kriege jährlich etwa 45 000 t zum Betriebe von Dieselmotoren verwendet wurden, so erkennt man, welche große Bedeutung der Verwendung des Steinkohlenteeröles für die weitere Entwicklung der Dieselmotore zuzumessen ist.

Zu beachten ist allerdings, daß der Heizwert des Teeres und Steinkohlenteeröles etwa 12—15% niedriger ist als der der Gasöle und daß zum Betriebe der Dieselmotore neben Teer und Steinkohlenteeröl meist noch kleinere Mengen (etwa 2% des Brennstoffes) von sogenanntem Zündöl, z. B. Paraffinöl, gebraucht werden, welches gleichzeitig mit dem Betriebsbrennstoffe in die Maschine bei jedem Hube eingespritzt wird, um eine bessere Zündung des Betriebsbrennstoffes zu erreichen.

## Zweites Kapitel:

### Die Umgestaltung der ursprünglichen Arbeitsweise.

Die ursprüngliche Arbeitsweise der ersten Dieselmotoren kann hier als bekannt vorausgesetzt werden (s. Anm. auf S. 45). Die Maschinen wurden ausnahmslos mit aufrechtstehenden Zylindern als einfachwirkende Viertaktmaschinen gebaut, wobei größere Leistungen dadurch erzielt wurden, daß zwei, drei oder auch vier Zylinder zu einer Maschineneinheit vereinigt wurden. Die weitere Entwicklung war ähnlich

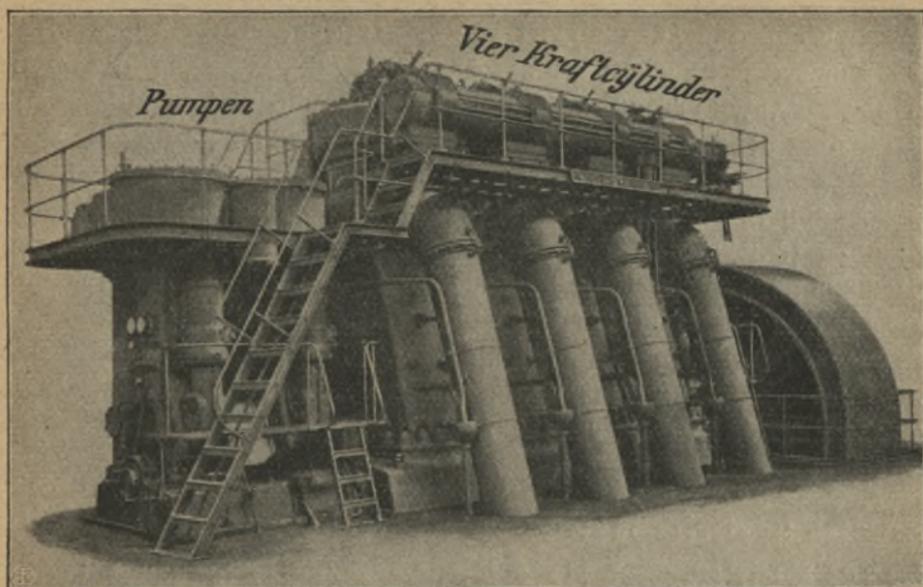


Abb. 10.

wie bei den früher besprochenen Großgasmaschinen, und heute gibt es Dieselmachines mit einfach- und solche mit doppelwirkendem Viertakte, Machines mit einfach- und solche mit doppelwirkendem Zweitakte. Ganz besonders einfach gestaltete sich hier die Ausbildung des Zweitaktes. Der Grundgedanke ist auch hier wieder derselbe, wie er oben auf S. 32 für alle Zweitaktmaschinen angegeben wurde. Auch hier öffnet der lange Kolben am Ende seines Hubes in dem Zylinder Auspuffschlitze, durch welche die noch hochgespannten Auspuffgase zum Teil selbsttätig ins Freie entweichen, zum Teil durch nachfolgende Spül- luft aus dem Zylinder hinausgespült werden. Nun besteht aber bei den Verpuffungsgasmaschinen eine große Schwierigkeit darin, daß das An- füllen des Zylinders mit frischem Gasgemisch nach dem Auspülen, zum Teil sogar schon während des Auspülens in sehr kurzer Zeit vor sich gehen muß, da ja das Gemisch vor der Zündung durch den rückkehrenden Maschinenkolben auch noch verdichtet werden muß. Bei der Dieselmachine dagegen fallen diese Schwierigkeiten fort, da ja eben vor der Zündung nur reine Luft, in diesem Falle also die Spül- luft selber, verdichtet zu werden braucht, während der flüssige Brennstoff entsprechend der Arbeitsweise der Maschine ja sowieso erst in dem Augenblicke in den Zylinder hineingedrückt wird, in welchem die Zün- dung erfolgen soll.

Zu beachten ist, daß auch hier, bei der im Zweitakte arbeitenden Dieselmachine, eine besondere Pumpe zur Erzeugung der Spülluft von geringer Pressung vorhanden sein muß. Nun gehört aber bekanntlich zur Erzielung der Arbeitsweise in der Dieselmachine eine weitere Pumpe, welche Luft von sehr hoher Pressung, etwa 50—60 at, erzeugt, um den Brennstoff in die auf 35 at im Zylinder verdichtete Luft einzublasen, und da schließlich auch noch zur Beförderung des Brennstoffes eine kleine Pumpe vorhanden sein muß, so sind also bei einer im Zweitakte arbeitenden Dieselmachine neben den Arbeitszylindern drei verschiedene Pumpen zu unterscheiden, die man kurz als Spülpumpe, Luftpumpe und Brennstoffpumpe zu bezeichnen pflegt. Abb. 10 (S. 47) zeigt eine große Zweitakt Dieselmachine von 2000 PS, erbaut von Gebr. Sulzer in Winththur.

### Drittes Kapitel: Bauliche Umgestaltung der Dieselmachine.

**Die Dieselmachine als ortsfeste Großgasmachine.** Die Bauart mit aufrechtstehendem Zylinder, wie sie bei den ersten Dieselmachines durchweg angewendet wurde und wie sie auch Abb. 10 zeigt, hat neben mancherlei Vorzügen unter anderem den Nachteil, daß die empfindlichen Teile der Maschine, Steuerungsteile und Reguliervorrichtung, sehr hoch liegen, so daß eine Überwachung und Instandhaltung dadurch etwas erschwert ist. Um diesem Übelstande abzuhelpen, ging man vor einigen Jahren vielfach zur Bauart mit wagerecht liegendem Zylinder über, wobei zugleich der Vorteil erreicht wurde, daß es nunmehr in einfacher Weise möglich war, Maschinen in Reihenanordnung (zwei Zylinder hintereinander) zu bauen und so unter gleichzeitiger Einführung des doppeltwirkenden Viertaktes eine Eintaktwirkung zu erzielen, genau in derselben Weise, wie dies früher (S. 37) bei den Verpuffungsgroßgasmaschinen beschrieben wurde.

Abb. 11 zeigt eine solche Reihenmaschine in Zwillingsausführung mit doppeltwirkendem Viertakt, wie sie von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg für das städtische Elektrizitätswerk in Halle a. d. S. geliefert wurde. Die Maschine, welche Steinkohlenteeröl als Brennstoff benützt, leistet etwa 2000 PS, so daß auf jeden Zylinder eine Leistung von 500 PS entfällt. Die vier Zylinder sind in der Abbildung mit 1—4 bezeichnet; *L, L* sind die „Laternen“, Zwischenstücke zwischen den Zylindern. Heute sind die Leistungen dieser Maschine bereits überholt. Es werden jetzt liegende Dieselmachines mit 1000 PS in einem Zyl-

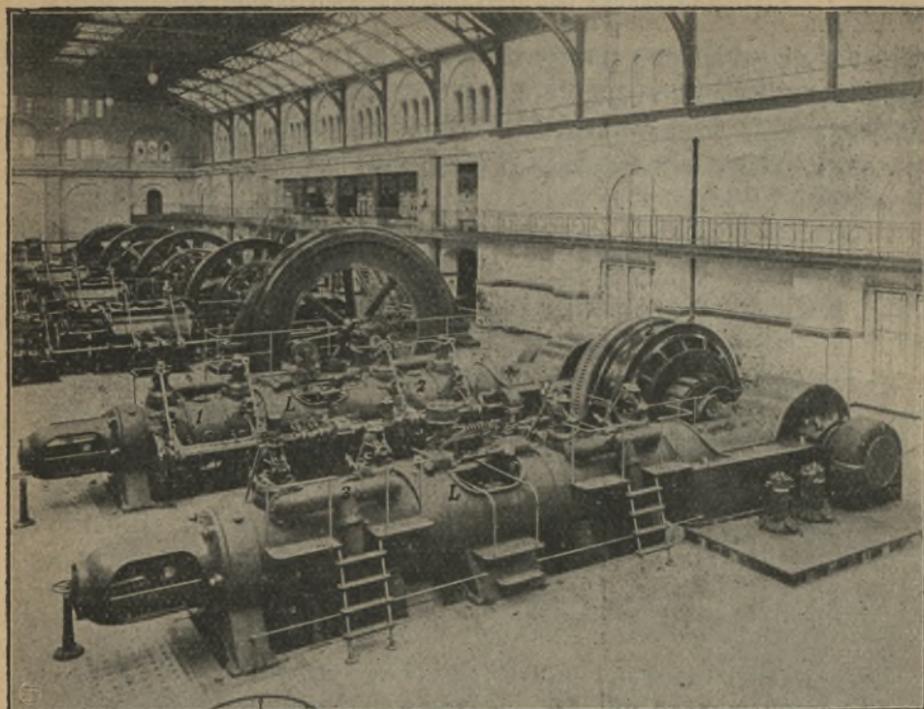
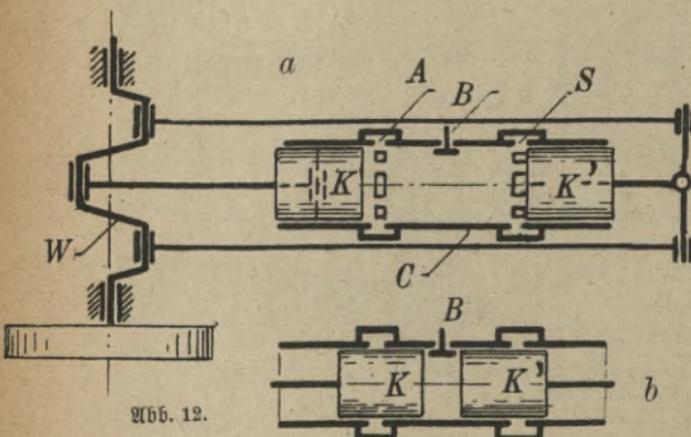


Abb. 11.

linder ausgeführt, und in einzelnen Versuchsmaschinen wurden sogar bis zu 2000 PS in einem Zylinder erreicht, so daß also damit sogar die Leistungen der früher besprochenen Großgasmaschinen überholt wären.

**Die Gegenkolbenzweitaktmaschine von Junkers.** Sehr beachtenswert ist die seit einigen Jahren auf dem Markte erschienene, nach dem Dieseld Gedanken arbeitende sogenannte Gegenkolbenmaschine von Professor Junkers in Dessau. Die Maschine besitzt eine dreimal gekröpfte Kurbelwelle *W* (Abb. 12), von welcher zwei Kolben *K* und *K'* derartig angetrieben werden, daß sie sich in einem an beiden Enden offenen Zylinder *C* abwechselnd aufeinander zu und voneinander fort bewegen. Die Arbeitsweise der Maschine ist kurz folgende: Stehen die Kolben (Abb. 12 b) in ihrer inneren Totlage, so befindet sich zwischen ihnen die hochverdichtete Luft, in welche nun durch das Brennstoffventil *B* der Brennstoff eingespritzt wird, der sich genau wie bei der Dieselmachine entzündet und die Kolben auseinandertreibt. Kurz vor Ende des Hubes, also kurz bevor die Kolben in ihrer äußeren Totlage (Abb. 12 a) angekommen sind, legt zunächst der Kolben *K* eine Reihe von Schlitzen

*A* in der Zylinderwand frei, durch welche die noch immer ziemlich hoch gespannten Verbrennungsgase mit großer Gewalt ins Freie auspuffen. Bald darauf legt der Kolben *K'* an dem entgegengesetzten Zylinderende eine zweite Reihe von Schlitzen *S* frei, durch welche von einer Luftver-



dichtungsanlage her Luft von einigen at Pressung in den Zylinder eindringt, die Verbrennungsgase vor sich her treibt und sie in sehr vollkommener Weise durch die Schlitze *A* aus dem Zylinder herauspült. Damit ist der Zylinder aber auch gleichzeitig mit frischer Luft gefüllt, die nun

von den sich wieder auf einander zu bewegenden Kolben, dem Dieseledanken entsprechend auf 35 und mehr at verdichtet wird.

Die Maschine hat eine Reihe sehr beachtenswerter Vorzüge. In bautechnischer Hinsicht wäre zunächst hervorzuheben die ungemein einfache Form des Zylinders ohne jeden Zylinderdeckel und ohne Auslaß- und Spülventile. An Ventilen besitzt die Maschine überhaupt nur ein, gegebenenfalls auch zwei kleine Brennstoffventile sowie ein natürlich ebenfalls in der Mitte des Zylinders befindliches, in der Abbildung nicht gezeichnetes Anlaßventil. Beachtenswert ist ferner, daß der Zylinder keinerlei Kräfte zu übertragen hat, denn, wie man leicht erkennt, wird die auf die Kolben ausgeübte Kraft ohne jede Gegenwirkung des Zylinders unmittelbar durch Schubstangen und Umführungsstangen auf die Pleuellwelle übertragen. In theoretischer Hinsicht ist als besonderer Vorzug der Maschine hervorzuheben das rasche und vorzügliche Ausspülen der Verbrennungsgase, wie es in gleicher Vollkommenheit bei keiner anderen Maschinengattung erreicht wird. Bemerkenswert ist auch noch der geringe Hub der einzelnen Kolben, da sich ja der gesamte Hub der Maschine aus dem Hube der beiden Kolben *K* und *K'* zusammensetzt. Schließlich wäre als Vorteil auch noch der Umstand hervorzuheben, daß durch die eigenartige Arbeitsweise der Kolben eine vorzügliche Ausgleichung der schwingenden Massen eintritt, was für ein ruhiges Arbeiten der Ma-

schine und die Abmessungen der Fundamente von wesentlicher Bedeutung ist.

Bedenken erregen könnte eigentlich nur die etwas schwierig herzustellende, mehrfach gekröpfte Kurbelwelle, doch spielt bei der heutigen fortgeschrittenen Werkstatt-Technik dieser Umstand eine verhältnismäßig geringfügige Rolle. Wegen ihres guten Massenausgleiches hat die Maschine mehrfach als Schiffsmaschine Verwendung gefunden, und es erscheint nicht ausgeschlossen, daß sie ihrer vorzüglichen baulichen und thermischen Eigenschaften wegen noch eine umfangreiche Anwendung finden wird.

**Die Dieselmotore als Schiffsmotore.** Schon lange war ja die Gasmaschine in der Gestalt von Benzin- und Benzolmaschinen zum Antriebe kleinerer Schiffe verwendet worden. Aber trotz der großen Vorteile, die eine solche Antriebsart sowohl in technischer wie in wirtschaftlicher Hinsicht gegenüber dem Dampfmaschinenbetriebe bot, schien es doch lange Zeit, als wenn wegen baulicher Schwierigkeiten und namentlich wegen der hohen Feuergefährlichkeit der genannten Brennstoffe der Antrieb von größeren Schiffen, insbesondere von Ozeanschiffen, der Gasmaschine verschlossen bleiben sollte. Da war es wieder die Dieselmotore, die einen Umschwung in dieser Hinsicht herbeiführte, und fast sieht es so aus, als wenn wir an einem Wendepunkte des Schiffsmotorenbaues angelangt wären, da die vorzüglichen technischen und wirtschaftlichen Erfolge der kleineren und mittleren Motorschiffe den Erfolg hatten, daß immer größere Schiffe, ja sogar große Frachtschiffe für überozeanischen Verkehr mit Dieselmotoren als Antriebsmaschinen gebaut wurden.

Die erste unmittelbar umsteuerbare Schiffsdieselmotore, welche also selber die Schraubenwelle nach Belieben vorwärts oder rückwärts zu drehen imstande war, wurde im Jahre 1905 von Gebrüder Sulzer in Winterthur, und zwar als Zweitaktmaschine mit einer Leistung von 100 PS, gebaut. Seit dieser Zeit sind die Leistungen umsteuerbarer Schiffsdieselmotoren immer größer geworden, und schon im Jahre 1912 wurde das erste in Deutschland von den Howaldtswerken in Kiel gebaute Motorfrachtschiff, der „Monte Penedo“, mit einer Maschinenleistung von 1600 PS für die Hamburg-Südamerika-Linie in Dienst gestellt. Es dürfte zweifellos sein, daß nach Beendigung des Krieges die Zahl und die Leistungsfähigkeit der Schiffsdieselmotoren immer weiter steigen wird, zumal diese Maschinen durch die erstaunlichen Leistungen unserer U-Boote ihre unbedingte Betriebssicherheit ja hinlänglich bewiesen haben.

Der Vorgang bei einer Umsteuerung der Maschine von Vorwärtsgang auf Rückwärtsgang ist kurz folgender: Angenommen, die Maschine läuft rechts herum, dann wird sie zunächst durch Abstellen der Brennstoffzufuhr still gesetzt, sodann nach Verstellen gewisser Steuereinrichtungen durch eingeführte Preßluft nach der entgegengesetzten Richtung in Gang gebracht und schließlich durch erneutes Einschalten der Brennstoffzufuhr der regelrechte Gang in gegenläufiger Richtung wieder hergestellt. So umständlich der ganze Vorgang erscheint, so hat sich doch gezeigt daß durch geschickte bauliche Anordnung eine Umsteuerung von vollem Vorwärtsgang auf vollen Rückwärtsgang selbst bei großen Schiffsdieselmotoren nur etwa 12—15 Sekunden in Anspruch nimmt. Daß für einen genügend großen Vorrat an hoch gespannter Preßluft gesorgt sein muß, ist selbstverständlich, jedoch gestaltet sich die Zuhilfenahme von Preßluft bei der Dieselmotore verhältnismäßig einfach, da solche bekanntlich schon zum Einblasen des Brennstoffes in den Zylinder zur Verfügung stehen muß, so daß die hierzu erforderliche Pumpe gleich dazu benutzt werden kann, um die für die Umsteuerung nötige Preßluft in Vorratsbehälter hineinzupressen.

**Die Vorteile der Dieselmotore als Schiffsmotore** liegen in erster Linie auf wirtschaftlichem Gebiete. Infolge der vorzüglichen Wärmeausnutzung ist der Verbrauch an Brennstoff wesentlich geringer als bei der Dampfmaschine — dem Gewichte nach beträgt er nur etwa den dritten Teil. Ganz abgesehen von dem Preise hat dies entweder den Vorteil, daß bei gleicher Brennstoffmenge der Aktionsradius des Schiffes entsprechend größer wird, oder aber, daß bei gleichem Aktionsradius infolge der geringeren mitzuführenden Brennstoffmenge viel mehr Raum zur Unterbringung von Reisenden oder Frachtgütern zur Verfügung steht. Die Vergrößerung des Aktionsradius wäre zunächst allerdings im wesentlichen für Kriegsschiffe von Bedeutung, doch könnten auch Handelsschiffe insofern Vorteil daraus ziehen, als sie das zum Antriebe für längere Zeit nötige Treiböl immer dort ankaufen könnten, wo es am billigsten zu haben wäre. Auch bei der Maschinenanlage treten große Raumersparnisse dadurch ein, daß ja die gesamte Dampfesselanlage fortfällt, der betreffende Raum also auch wieder zur Unterbringung von Brennstoffen, von Mitreisenden oder Fracht ausgenutzt werden kann. Für Kriegsschiffe käme ferner noch in Betracht die vollständige Rauchlosigkeit des Betriebes, die, wie man leicht einseht, im Kriegsfalle von großer Bedeutung ist, sowie die Entbehrlichkeit von Schornsteinen, die bekanntlich ein großes Hindernis für die umfassende Verwendung der Geschütze darstellen.

## Zweiter Teil: Dampfturbinen.

### Erster Abschnitt:

#### Einführung in die Theorie der Dampfturbinen.

##### Erstes Kapitel: Von der „lebendigen Kraft“ eines Körpers.

Unter dem Ausdruck „lebendige Kraft“ versteht man in der Mechanik die Arbeitsfähigkeit eines in Bewegung befindlichen Körpers. So hat z. B. ein aus einer Kanone geschleudertes Geschöß eine gewisse lebendige Kraft, d. h. ein Arbeitsvermögen oder die Fähigkeit, mechanische Arbeit zu leisten, wenn auch freilich diese „Arbeit“ wohl stets dazu verwendet wird, um irgendein Unheil oder eine Zerstörung anzurichten. Der Rammkloß einer Ramme verrichtet Arbeit, indem er einen Pfahl in das Erdreich hineintreibt. Diese Arbeitsfähigkeit hatte er dadurch bekommen, daß er von Arbeitern in die Höhe gezogen wurde und dann eine Strecke frei herunterfiel, wodurch ihm eine gewisse Geschwindigkeit und damit eine „lebendige Kraft“ erteilt wurde.

„Masse“ eines Körpers. Was zunächst die Größe dieser lebendigen Kraft anlangt, so ist wohl ohne Schwierigkeiten einzusehen, daß unter sonst gleichen Umständen, d. h. bei gleicher Geschwindigkeit, die lebendige Kraft um so größer sein wird, je schwerer der in Bewegung befindliche Körper ist, genauer gesagt: je größer die „Masse“ des in Bewegung befindlichen Körpers ist. Unter Masse eines Körpers versteht man bekanntlich den Faktor: Gewicht des Körpers, dividiert durch die Größe der Fallbeschleunigung, oder anders ausgedrückt:  $\text{Gewicht eines Körpers} = \text{Masse des Körpers} \times \text{Fallbeschleunigung}$ . Der Grund, warum man in der Mechanik bei den Gesetzen für die Bewegung der Körper nicht mit den Gewichten, sondern mit den Massen der Körper rechnet, ist der, daß die Masse eines bestimmten Körpers in allen Punkten des unendlichen Weltalls immer ein und dieselbe ist, nicht aber das Gewicht dieses Körpers. Könnten wir einen und denselben Körper vermittels einer Federwage zuerst auf der Erde wiegen, dann auf der Sonne und endlich auf dem Monde, so würden wir finden, daß sein Gewicht auf der Sonne wesentlich größer, auf dem Monde dagegen wesentlich geringer ist als auf der Erde. Ja, selbst an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche hat ein und derselbe Körper, mit

der Federwage gemessen, ein verschiedenes Gewicht, weil eben, aus hier nicht zu erörternden Gründen, die Fallbeschleunigung, oder anders ausgedrückt: die Anziehungskraft der Erde selbst auf der Erdoberfläche nicht an allen Punkten dieselbe ist, sondern z. B. von den Polen nach dem Äquator hin abnimmt. Die Gesetze für die Bewegung der Körper können also nur dann allgemeine Richtigkeit haben, wenn sie nicht für die veränderlichen Gewichte, sondern für die unveränderlichen „Massen“ der Körper aufgestellt werden. Würde man beispielsweise die Größe der lebendigen Kraft durch das Gewicht eines Körpers ausdrücken, so könnte man zwar auch sagen: bei gleich großer Geschwindigkeit hat ein doppelt so schwerer Körper die doppelte lebendige Kraft, müßte dann aber hinzufügen: unter der Bedingung, daß beidemale die betreffenden Versuche an einem und demselben Punkte der Erdoberfläche angestellt würden. Der Satz könnte nämlich sofort unrichtig sein, wenn wir an einem und demselben Punkte der Erdoberfläche die lebendige Kraft zweier Körper untersuchen würden, deren Gewicht an zwei weit voneinander entfernt liegenden Orten festgestellt worden wäre. Bestimmen wir dagegen an irgendwelchen, beliebig weit voneinander liegenden Punkten die Massen zweier Körper und finden wir, daß die Masse des einen Körpers doppelt so groß ist als die an irgendeiner anderen Stelle bestimmte Masse des anderen Körpers, dann ist an ganz beliebigen Stellen des Weltalls bei gleich großer Geschwindigkeit der beiden Körper die lebendige Kraft des Körpers mit doppelter Masse auch doppelt so groß als die lebendige Kraft des anderen Körpers usw.

**Wichtige Gesetze.** Ein erstes sehr wichtiges Gesetz lautet demgemäß:

Bei gleicher Geschwindigkeit zweier in Bewegung befindlicher Körper verhalten sich ihre lebendigen Kräfte wie ihre Massen,

ein Körper mit zwei-, drei-, vierfacher Masse hat auch die zwei-, drei-, vierfache lebendige Kraft. Ein zweites Gesetz, dessen Ableitung hier zu weit führen würde, lautet:

Die lebendigen Kräfte zweier in Bewegung befindlicher Körper von gleich großer Masse verhalten sich wie die Quadrate ihrer Geschwindigkeiten.

Hat also ein Körper  $a$  die zwei-, drei-, vierfache Geschwindigkeit eines Körpers  $b$  von gleich großer Masse, so ist die lebendige Kraft des Körpers  $a$  4-, 9-, 16 mal so groß als die lebendige Kraft des Körpers  $b$ . Endlich ist man noch übereingekommen, als Größe der lebendigen Kraft

eines in Bewegung befindlichen Körpers aus gewissen Gründen nicht den Ausdruck Masse  $\times$  Quadrat der Geschwindigkeit anzunehmen, sondern die Hälfte dieses Ausdruckes, so daß sich schließlich der sehr wichtige Satz ergibt:

Die lebendige Kraft ( $L$ ) eines Körpers ist gleich der Hälfte des Produktes aus Masse des Körpers mal dem Quadrate seiner Geschwindigkeit.

In Buchstaben ausgedrückt lautet dieses sehr wichtige Gesetz:

$$L = \frac{m v^2}{2},$$

wobei also  $L$  die lebendige Kraft des Körpers darstellt,  $m$  seine Masse und  $v$  die Geschwindigkeit (gemessen in Metern in der Sekunde), die er in dem betrachteten Augenblick hat.

**Änderung der lebendigen Kraft.** Wir hatten gesehen, lebendige Kraft ist nichts anderes als Arbeitsvermögen, d. h. Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu leisten, und zwar eine Fähigkeit, die er dadurch erlangt hat, daß ihm eine gewisse Geschwindigkeit erteilt wurde. Eine einfache Überlegung zeigt nun, daß die Geschwindigkeit eines in Bewegung befindlichen, also mit lebendiger Kraft begabten Körpers unter allen Umständen abnehmen muß, wenn er dazu gezwungen wird, wirklich Arbeit zu leisten. Leistet der Körper nämlich Arbeit, d. h.: gibt er Arbeit nach außen hin ab, so geht ihm offenbar ein Teil der in ihm steckenden Arbeitsfähigkeit verloren, seine lebendige Kraft wird also kleiner, und da sich  $m$ , die Masse des Körpers, nicht ändern kann, so kann sich eben nur  $v$  geändert haben, d. h. kleiner geworden sein.

Umgekehrt: Hat ein in Bewegung befindlicher Körper in einem gegebenen Augenblicke eine gewisse lebendige Kraft und läßt sich feststellen, daß nach einer gewissen Zeit seine Geschwindigkeit und folglich auch seine lebendige Kraft abgenommen hat, so können wir daraus mit Sicherheit schließen, daß der Körper inzwischen Arbeit verrichtet hat. Die Größe dieser Arbeit können wir sogar genau bestimmen, sobald wir nur imstande sind, die Geschwindigkeit des Körpers in den beiden Zeitpunkten mit Sicherheit festzustellen. Hat nämlich der Körper im ersten Zeitpunkte die Geschwindigkeit  $v_1$ , also die lebendige Kraft  $\frac{m v_1^2}{2}$ , im zweiten Zeitpunkte dagegen nur noch die Geschwindigkeit  $v_2$ , also nur noch die lebendige Kraft  $\frac{m v_2^2}{2}$ , so ist seine lebendige Kraft kleiner geworden um

den Betrag  $\frac{m v_1^2}{2} - \frac{m v_2^2}{2}$ , und diese Differenz muß nach dem Gesetze von der Erhaltung der Energie genau so groß sein als die während der Geschwindigkeitsabnahme von dem Körper geleistete Arbeit. Wir finden also den wichtigen **Satz: Geleistete Arbeit = Unterschied der lebendigen Kräfte**; oder in Buchstaben ausgedrückt:

$$A = \frac{m v_1^2}{2} - \frac{m v_2^2}{2}.$$

Ein paar Beispiele mögen diesen für die ganzen folgenden Betrachtungen sehr wichtigen Satz erläutern.

**Beispiele.** Auf einer Achse (Abb. 13) sitze, mit ihr fest verbunden, eine Trommel, um welche ein Seil geschlungen

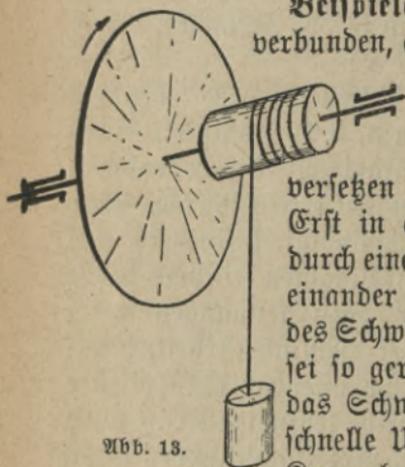


Abb. 13.

ist. An diesem Seile hänge eine Last von 250 kg. Auf der Achse sei ferner ein schweres Schwungrad so angebracht, daß es sich in Umdrehung

versetzen läßt, zunächst ohne daß sich die Achse mitdreht.

Erst in einem gewünschten Augenblick sei es möglich, durch eine sog. Kupplung Achse und Schwungrad fest mit-

einander zu verbinden. Nehmen wir nun an, der Kranz

des Schwungrades wiege 981 kg (das Gewicht der Arme sei so gering, daß es vernachlässigt werden kann) und

das Schwungrad sei durch irgendwelche Mittel in so

schnelle Umdrehung versetzt worden, daß ein Punkt der

Kranzoberfläche (genauer: der Schwerpunkt des Kranz-

querschnittes) in jeder Sekunde einen Weg von 10 m zurücklegt. Man sagt

dann, der Kranz habe eine Umfangsgeschwindigkeit von 10 m/sek

Wie groß ist nun die lebendige Kraft dieses Schwungrades? Da die

Fallbeschleunigung auf der Erde bekanntlich im Mittel etwa gleich

9,81 m ist, so ist die Masse des Schwungrades = Gewicht dividiert

durch Fallbeschleunigung, also  $m = \frac{981}{9,81} = 100$  Masseneinheiten. Die

Geschwindigkeit des Kranzes ist, wie wir gesehen hatten,  $v_1 = 10$  m/sek

folglich ist die lebendige Kraft des mit dieser Geschwindigkeit sich drehen-

den Schwungrades:

$$L_1 = \frac{m v_1^2}{2} = \frac{100 \cdot 10^2}{2} = 5000 \text{ mkg.}$$

Es müssen offenbar mkg (Meterkilogramm) sein, da wir ja bereits wissen, daß die lebendige Kraft nichts anderes ist als die Fähig-

feit Arbeit zu leisten, und Arbeit ja in Meterkilogramm gemessen wird.

Verbinden wir jetzt das Schwungrad in der vorhin angegebenen Weise mit der Welle, so wird es ganz offenbar vermittels des um die Trommel geschlungenen Seiles das Gewicht in die Höhe ziehen. Wir könnten aber dabei bemerken, daß das Schwungrad immer langsamer und langsamer geht, daß also seine lebendige Kraft fortwährend abnimmt. Betrachten wir z. B. den Augenblick, in welchem der Schwungradfranz nur noch eine Umfangsgeschwindigkeit von  $v_2 = 5$  m in der Sekunde hat, dann ist seine lebendige Kraft nur noch  $L = \frac{m v_2^2}{2} = \frac{100 \cdot 5^2}{2} = 1250$  mkg, die lebendige Kraft hat also um 5000 —

1250 = 3750 mkg abgenommen, und dieser Unterschied von 3750 mkg muß nach dem oben angegebenen Satze gerade der von dem Schwungrade geleisteten mechanischen Arbeit entsprechen. Da nun die an dem Seile hängende Last nach unserer früheren Annahme 250 kg wiegt, so müßte unter der Voraussetzung, daß keine Arbeitsverluste durch Reibung auftreten, das Schwungrad, während sich seine Umfangsgeschwindigkeit von 10 auf 5 m in der Sekunde verringerte, jene Last um  $\frac{3750}{250} = 15$  m in die Höhe gehoben haben.

In ähnlicher Weise läßt sich nun auch berechnen, wie hoch überhaupt die Last von 250 kg unter den gegebenen Voraussetzungen durch das in Bewegung gesetzte Schwungrad gehoben werden könnte. Das Schwungrad hatte bei Beginn des Anhebens eine lebendige Kraft von 5000 mkg. Soll nun diese lebendige Kraft vollständig vernichtet oder, besser ausgedrückt, in Arbeitsleistung umgewandelt werden, so würde die Lasthebung so lange fortgesetzt werden können, bis die Geschwindigkeit des Schwungradfranzes zu Null geworden ist. Da die Last 250 kg wiegt, das mit 10 m Umfangsgeschwindigkeit umlaufende Schwungrad aber eine Arbeitsfähigkeit von 5000 mkg besitzt, so ließe sich demnach bei vollständiger Umwandlung der lebendigen Kraft in Arbeit jene Last um  $\frac{5000}{250} = 20$  m hoch heben, worauf die ganze Vorrichtung zum Stillstande kommen würde.

**Umkehrung.** Gerade dieses Beispiel läßt nun mit großer Deutlichkeit eine sehr wichtige Umkehrung des obengenannten Satzes erkennen, daß geleistete Arbeit gleich dem Unterschied der lebendigen Kräfte in zwei gegebenen Augenblicken ist. Nehmen wir an, am Ende unseres zuletzt angestellten Versuches, d. h. wenn das Schwungrad eben zum Still-

stande gekommen ist, hielten wir die ganze Vorrichtung nicht etwa fest, sondern überließen sie sich selbst. Was würde dann eintreten? Offenbar würde die Last von 250 kg nach kurzem Stillstande wieder anfangen hinunterzusinken, sie würde das Schwungrad in immer schnellere Umdrehung versetzen, die lebendige Kraft des Schwungrades würde wieder zunehmen, und offenbar würde in dem Augenblicke, wo die Last von 250 kg wiederum um 20 m gesunken ist, eine Arbeitsleistung von  $250 \times 20 = 5000$  mkg wieder auf das Schwungrad übertragen worden sein. Mit anderen Worten: wenn die Last wieder um 20 m gesunken ist, würde auch der Schwungradkranz wieder eine Umfangsgeschwindigkeit von 10 m erreicht haben.

Hatten wir also vorher den wichtigen Satz: Arbeitsleistung = Differenz der lebendigen Kräfte, oder geleistete Arbeit = der Abnahme der lebendigen Kraft, so können wir jetzt als einen nicht minder wichtigen Satz die Umkehrung des obengenannten Satzes aussprechen:

Die Zunahme der lebendigen Kraft eines in Bewegung befindlichen Körpers entspricht genau der auf ihn übertragenen mechanischen Arbeit.

oder anders ausgedrückt: eine Zunahme der lebendigen Kraft eines in Bewegung befindlichen Körpers ist nur dadurch möglich, daß mechanische Arbeit auf ihn übertragen wird.

## Zweites Kapitel: Absolute und relative Geschwindigkeit.

**Ruhe ein Relativbegriff.** „Alles fließt“, hat schon in alten Zeiten ein Philosoph ausgerufen, indem er dabei meinte, daß alles, was man auch immer sehen kann, sich in Bewegung befinde. Und in der Tat, ein wirklich ruhender Punkt ist aller Wahrscheinlichkeit nach in unserem gesamten Weltall nicht vorhanden, denn wo immer ein solcher scheinbar vorhanden ist, bei näherer Betrachtung stellt es sich immer heraus, daß seine Ruhe eben nur scheinbar ist, oder mit anderen Worten: die Ruhe erscheint uns nur als Ruhe, sie ist, wie man in der Mechanik sich auszudrücken pflegt, nur eine relative Ruhe, häufig z. B. deshalb, weil der Beobachter sich ebenso rasch bewegt wie jener scheinbar sich in Ruhe befindende Punkt. Wenn wir vor einem Haus, einer Kirche, einem Baum stehen, so sagen wir, das alles stehe still, das Haus, die Kirche, der Baum befinden sich in Ruhe. Diese Ruhe ist aber nur scheinbar, denn in Wirklichkeit stehen alle diese Gegenstände an der Oberfläche der Erde, welche mit gewaltiger Geschwindigkeit den Weltenraum durchheilt. Ja,

selbst diese relative Ruhe hört sofort auf, sobald wir uns bewegen. Gehen wir an einem Baum vorbei, so können wir ebensogut sagen, der Baum bewegt sich (relativ) mit derselben Geschwindigkeit an uns vorbei, mit der wir selbst an dem von einem anderen Beobachter als ruhend angesehenen Baum vorbeigehen. Wer könnte sich wohl, in einem schnell dahinfahrenden Eisenbahnzuge sitzend, der Täuschung verschließen, als ob die Telegraphenstangen in atemloser Hast an uns vorüberjagten, als ob die Telegraphendrähte, wie von unsichtbaren Kräften bewegt, vor den Fenstern unseres Abteils auf und nieder tanzten? Wir wissen ganz genau, die Drähte, die Stangen, sie hängen und stehen da in regungsloser „Ruhe“, und doch sehen wir ganz genau ihre Bewegung, ihre „Ruhe“ ist also nur eine relative Ruhe.

Ganz genau dasselbe ist ja auch bei der Sonne der Fall. Wir wissen, sie steht still, sie ist in „Ruhe“, und doch sehen wir sie ganz genau aufgehen, sehen sie sich am Himmelsgewölbe weiterbewegen, sehen sie untergehen; auch ihre Ruhe ist also nur eine relative Ruhe.

**Geschwindigkeit ein Relativbegriff.** In ganz derselben Weise wie bei der Ruhe kann man, genau genommen, von einer absoluten Geschwindigkeit niemals sprechen. Wenn wir sagen: die Schnecke, der Reiter, die Lokomotive bewegen sich mit einer gewissen Geschwindigkeit, so beziehen wir unwillkürlich die Geschwindigkeit, d. h. den in der Sekunde zurückgelegten Weg, auf eine von uns als ruhend angenommene Strecke oder Ebene, in der Regel wohl auf die Oberfläche der Erde, die sich doch, wie wir schon in der Schule lernen, mit rasender Geschwindigkeit durch den Weltraum dahinbewegt.

Denken wir uns folgenden Fall: Ein kleiner Dampfer fahre von Osten nach Westen durch den Englischen Kanal. In dem Augenblicke, wo er sich an der engsten Stelle, gerade in der Höhe von Dover, befindet, wird das Wetter neblig, der Dampfer fährt mit halber Kraft, und als sich eine Stunde darauf der Nebel teilt, erkennt der Kapitän, daß — er sich noch genau an derselben Stelle befindet. Die zufällig gerade um diese Zeit herrschende von Westen nach Osten gerichtete starke Strömung des Wassers trieb das Schiff immer genau so schnell rückwärts, als die Schraube das Schiff vorwärts drückte. Welche „Geschwindigkeit“ hatte nun das Schiff? Ein Beobachter am Lande würde sagen: das Schiff war während dieser Stunde in Ruhe. Die Insassen des Schiffes hörten die Maschine arbeiten, sahen deutlich verschiedene Gegenstände an dem Schiff rasch vorbeitreiben, sie waren also berechtigt

anzunehmen, das Schiff fahre vorwärts. Die Mitreisenden eines großen Schnelldampfers, der gerade noch in Sichtweite im Nebel in derselben Richtung das Schiff überholte, waren der Ansicht, unser Dampfer fahre in entgegengesetzter Richtung an ihnen vorüber, seine Geschwindigkeit sei also rückwärts gerichtet. Wer von den drei Beobachtern hatte nun recht? Genau genommen offenbar alle drei! Vorausgesetzt, daß Ruhe und Geschwindigkeit als relative Ruhe und relative Geschwindigkeit betrachtet werden, beides bezogen auf den als ruhend angenommenen Standpunkt des jeweiligen Beobachters. Die relative Geschwindigkeit unseres Dampfers gegenüber dem Lande war gleich Null, gegenüber dem Wasser und den darin treibenden Gegenständen positiv, gegenüber dem schneller fahrenden Schnelldampfer negativ.

Da gerade diese Betrachtungen über relative und absolute Geschwindigkeit für die ganze folgende Abhandlung von größter Wichtigkeit sind, dürfte es nicht überflüssig sein, noch ein paar Beispiele zur Erläuterung des eben Gesagten hinzuzufügen.

**Erstes Beispiel.** Denken wir uns (Abb. 14) einen Fluß, über welchen vom Punkte  $P$  aus ein von einer Benzinmaschine getriebenes Boot in der Richtung  $mn$  mit der Geschwindigkeit  $ab$  fahren will. Das Boot fahre zunächst eine Strecke lang geschützt vor der Strömung, deren Größe und Richtung durch die Strecke  $ac$  dargestellt wird ( $ab$  sowohl wie  $ac$  mögen dabei die Geschwindigkeit als in der Sekunde zurückgelegte Wegstrecken darstellen). Ist nun das Boot über den schützenden Vorsprung hinausgefahren und etwa bis zum Punkte  $a$  gelangt, so erkennt man sofort, daß das Boot am Ende der näch-

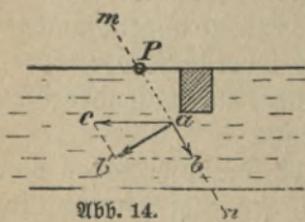


Abb. 14.

sten Sekunde nicht nach  $b$ , sondern nach  $b'$  gelangt sein wird, weil eben in derselben Zeit, in der die Kraft der Benzinmaschine das Boot von  $a$  nach  $b$  treiben würde, die Strömung des Wassers das Boot um die Strecke  $ac = bb'$  von rechts nach links treibt. Die Relativgeschwindigkeit des Bootes in Bezug auf die den Rahn umspülenden Wasserteilchen ist in der Tat gleich der Strecke  $ab$ , da aber die Wasserteilchen selbst in der betrachteten Sekunde von der Stelle  $ab$  nach der Stelle  $cb'$  getrieben werden, ergibt sich eine sog. absolute Geschwindigkeit des Bootes von der Größe  $ab'$ .

**Parallelogramm der Geschwindigkeiten.** Aus diesen Betrachtungen kann man einen für das Folgende sehr wichtigen Satz ableiten:

$ab$  ist die Relativgeschwindigkeit des Bootes in bezug auf die das Boot umspülenden Wasserteilchen;  $ac$  ist die Relativgeschwindigkeit des Bootes in bezug auf das Ufer. Man erkennt nun aus der Abbildung, daß man aus diesen beiden Relativgeschwindigkeiten die absolute Geschwindigkeit des Bootes einfach dadurch findet, daß man mit den beiden Relativgeschwindigkeiten als Seiten ein Parallelogramm zeichnet (in der Mechanik Parallelogramm der Geschwindigkeiten genannt). Die Diagonale dieses Parallelogrammes stellt dann der Größe und Richtung nach die absolute Geschwindigkeit des betreffenden Punktes, hier also die absolute Geschwindigkeit des Bootes, dar. Es ist aus dem Gesagten leicht ersichtlich, daß man auch umgekehrt irgendeine Geschwindigkeit wieder zerlegen oder sich entstanden denken kann aus zwei beliebigen anderen Geschwindigkeiten, sofern nur diese beiden anderen Geschwindigkeiten, in diesem Falle dann Seitengeschwindigkeiten genannt, ihrer Größe und Richtung nach so beschaffen sind, daß sie die Seiten eines Parallelogrammes bilden, dessen Diagonale die gegebene Geschwindigkeit ist.

**Zweites Beispiel.** Ein anderer Fall: Wir denken uns (Abb. 15) eine wagerecht liegende und mit feinem Sande bestreute Tafel mit einer ihrer Größe nach durch die Strecke  $ab$  dargestellten Geschwindigkeit etwa auf dem Boden eines Zimmers zwischen Führungsleisten seitlich fortbewegt. Von der Decke herab hänge an einem langen Faden eine Kugel, an welcher unten irgendwie ein Stift befestigt ist. Die Vorrichtung sei gerade so lang, daß der Stift eine Linie in den Sand einzeichnen könne, und nun denke man sich, die Kugel schwinde in der

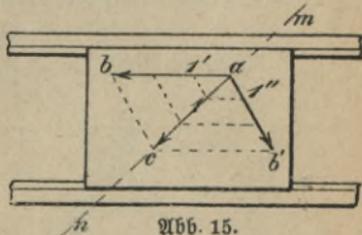


Abb. 15.

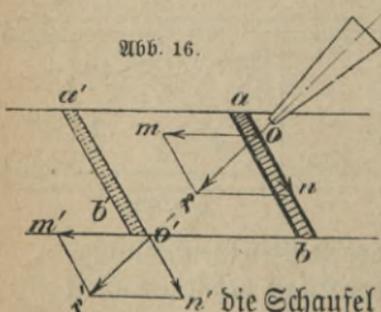
Richtung  $mn$  und mit einer durch die Strecke  $ac$  dargestellten Geschwindigkeit über die Tafel. Welche Linie wird der an der Kugel befestigte Stift beschreiben? Stände die Tafel fest, so würde offenbar die Linie  $ac$  beschrieben werden. Da sich aber die Tafel gleichzeitig mit der Geschwindigkeit  $ab$  nach links bewegt, beschreibt der Stift in dem Sande nicht die Linie  $ac$ , sondern  $ab'$ . Dies ergibt sich aus folgender Betrachtung: In dem Augenblicke, wo die Kugel im Raume beispielsweise nach dem Punkte 1 gekommen ist, hat sich die Tafel um das Stück  $a 1'$  nach links bewegt. Es ist also im Raume der Punkt  $a$  nach  $1'$  gelangt, folglich auch der Punkt  $1''$  nach  $1$ , so daß nunmehr die Kugel auf der Tafel über dem Punkte  $1''$  steht usw. Wir sprechen auch hier wieder von einer

absoluten Geschwindigkeit ( $ac$ ) des Schreibstiftes, während  $ab'$  die Relativgeschwindigkeit des Schreibstiftes in bezug auf die Tafel,  $ab$  die Relativgeschwindigkeit etwa in bezug auf die Führungsleisten darstellt. Man erkennt ohne weiteres, daß man  $ab'$  dadurch findet, daß man die Endpunkte  $b$  und  $c$  der gegebenen Strecken  $ab$  und  $ac$  verbindet und von  $a$  aus zu  $bc$  eine Parallele  $ab'$  zieht, oder anders ausgedrückt: auch hier bildet die absolute Geschwindigkeit ihrer Größe und Richtung nach die Diagonale eines aus beiden Relativgeschwindigkeiten gebildeten Parallelogramms.

### Drittes Kapitel: Schaufel und Flüssigkeitsstrahl.

**Gerade Schaufel.** Gegen eine schräge Schaufel  $ab$  (Abb. 16), welche durch irgendeine Vorrichtung mit der durch die Strecke  $om$  dargestellten Geschwindigkeit geradlinig von rechts nach links bewegt wird, treffe ein aus einer Düse, d. h. einem sich verjüngenden Rohre, ausströmender Flüssigkeitsstrahl mit einer Geschwindigkeit, deren Größe und Richtung im Augenblicke des Auftreffens auf die Schaufel durch die Strecke  $or$  dargestellt wird. Größe und Richtung von  $or$  seien dabei derartig, daß  $or$  die Diagonale eines Parallelogramms bildet, dessen eine Seite  $om$  ist und dessen andere Seite in die Oberfläche der Schaufel falle.

Abb. 16.



Aus dem eben besprochenen Beispiele der mit Sand bestreuten Tafel ist wohl klar, daß  $or$  die absolute Geschwindigkeit eines Flüssigkeitsteilchens ist, während  $on$  die Relativgeschwindigkeit dieses Flüssigkeitsteilchens in bezug auf die Schaufel  $ab$  darstellt. Das betrachtete Flüssigkeitsteilchen wird also, wie wohl zu beachten ist, nicht etwa durch die Schaufel abgelenkt; es bewegt sich im Raume tatsächlich von  $o$  nach  $r$ . Da aber in demselben Zeitabschnitte die Schaufel mit der Geschwindigkeit  $om$  von rechts nach links bewegt wird, bewegt sich das Flüssigkeitsteilchen relativ, oder in bezug auf die Schaufel, mit der ihrer Größe und Richtung nach durch die Strecke  $on$  dargestellten Geschwindigkeit. Da nun  $on$  nach unserer Annahme gerade mit der Schaufeloberfläche zusammenfällt, so erkennt man leicht, daß das Flüssigkeitsteilchen ohne jeden weiteren Einfluß auf die Schaufelbewegung an der Schaufel entlang fließt. Man erkennt aber auch noch folgendes: Ist die Schaufel auf ihrer Vorwärtsbewegung in die Lage  $a'b'$  gelangt, so

können wir uns vorstellen, daß ein am untersten Ende der Schaufel sich befindendes Flüssigkeitsteilchen ähnlich wie das früher besprochene Boot gleichzeitig zwei Geschwindigkeiten hat: erstens die Geschwindigkeit  $o'n'$ , die Relativgeschwindigkeit, mit der es sich gegen die Schaufelwandung bewegt, und zweitens die Geschwindigkeit  $o'm'$ , die Geschwindigkeit der Schaufel selbst. Diese beiden Geschwindigkeiten setzen sich nun gerade so wie damals bei dem Boote zu einer einzigen sog. absoluten Austrittsgeschwindigkeit  $o'r'$  zusammen, welche, wie sofort aus der Zeichnung ersichtlich ist, dieselbe Größe und Richtung haben muß wie die ursprüngliche absolute Geschwindigkeit  $or$ , mit welcher das Wasser die Schaufel trifft. Es mag an dieser Stelle, gleichzeitig auch mit Bezug auf alle folgenden Betrachtungen, hingewiesen werden, daß verschiedene Höhenlagen des Ein- und Austrittspunktes der Flüssigkeit sowie Reibung der Flüssigkeit an den Schaufeln die Geschwindigkeitsverhältnisse allerdings etwas beeinflussen. Diese Einflüsse sind aber (ganz besonders bei einer einzelnen Dampfturbinenschaufel) derartig gering, daß sie im folgenden stets vernachlässigt werden sollen.

**Gekrümmte Schaufel.** Wir wollen nun den oben angestellten Versuch in der Weise abändern, daß wir die Schaufeln in ihrem unteren Teile ein klein wenig krümmen (Abb. 17). Alles übrige, also die absolute Auftreffgeschwindigkeit des Flüssigkeitsteilchens, Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit der Schaufel und demgemäß auch die Relativgeschwindigkeit des Wassers zu der Schaufel sei unverändert geblieben. Zunächst erkennen wir, daß auch hier das Wasser die Schaufel ohne jeden Stoß trifft und anfänglich sogar ohne Einfluß auf die Bewegung der Schaufel mit der Relativgeschwindigkeit  $on$  an der Schaufeloberfläche entlang gleitet. Bei der Kürze der Schaufel wird sich nun diese Relativgeschwindigkeit offenbar so gut wie gar nicht ändern, auch wenn die Schaufel gekrümmt ist, das Wasser wird also mit angenähert derselben Relativgeschwindigkeit  $o'n' = on$  die Schaufel verlassen. Da nun aber die Schaufel an ihrem unteren Ende, gerade so wie oben, eine nach links gerichtete wagerechte Geschwindigkeit  $o'm' = om$  hat, so verläßt das Wasser die Schaufel mit einer absoluten Geschwindigkeit, welche sich in einfacher Weise daraus ergibt, daß man durch  $m'$  eine Parallele zu  $o'n'$  und durch  $n'$  eine Parallele

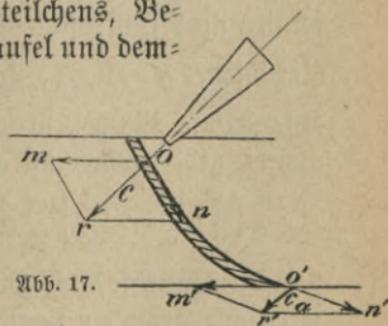


Abb. 17.

zu  $o'm'$  zieht;  $o'r'$  gibt dann der Größe und Richtung nach die absolute Austrittsgeschwindigkeit des Wassers an.

Ein Blick auf die Abbildung zeigt nun sofort folgendes:  $o'r'$  ist kleiner als  $or$ , d. h. die absolute Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser die Schaufel verläßt, ist kleiner als die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser die Schaufel traf. Da das Wasser ebenso eine „Masse“ hat wie jeder andere Körper, so wissen wir aus unseren früheren Überlegungen (S. 54): Die lebendige Kraft, mit der das Wasser die Schaufel traf, hat sich während des Entlanggleitens des Wassers an der Schaufel vermindert. Bezeichnen wir die Geschwindigkeit  $or$  mit  $c$ , die Geschwindigkeit  $o'r'$  mit  $c_a$ , so ist die Einbuße an lebendiger Kraft nach unseren früheren Betrachtungen (S. 56) gleich  $\frac{mc^2 - mc_a^2}{2}$ . Eine

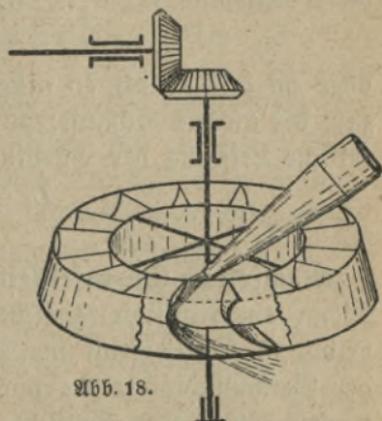
solche Einbuße an lebendiger Kraft muß sich nun aber, wie wir bereits wissen, von Reibungs- und anderen Verlusten abgesehen, in geleisteter Arbeit widerfinden, und daraus ergibt sich mit Notwendigkeit folgendes: Während die Flüssigkeit an der gekrümmten Schaufel entlang geglitten ist, hat sie Arbeit an die Schaufel übertragen, und zwar eine Arbeit, deren Größe sich darstellt durch den Unterschied  $\frac{mc^2 - mc_a^2}{2}$ . Bezeichnet man die Größe der durch-

schnittlichen Fallbeschleunigung auf der Erde mit dem Buchstaben  $g$  (im Mittel  $g = 9,81$ ), so ist die Masse von 1 kg Wasser =  $\frac{1}{g}$ . Jedes Kilogramm Wasser, welches also an der gekrümmten Schaufel entlang gleitet, gibt demgemäß an die Schaufel eine Arbeit ab von der Größe  $A = \left(\frac{1}{g}\right) \frac{c^2}{2} - \left(\frac{1}{g}\right) \frac{c_a^2}{2}$  mkg, oder kürzer geschrieben  $A = \frac{c^2 - c_a^2}{2g}$  mkg.

Man erkennt sofort, wie man es einzurichten hat, um diese Arbeit möglichst groß zu machen. Die Arbeit wird offenbar um so größer werden, je größer  $c$  ist, je größer also die Geschwindigkeit ist, mit welcher das Wasser die Schaufel trifft.  $A$  wird aber auch um so größer, je kleiner  $c_a$ , die absolute Austrittsgeschwindigkeit des Wassers, wird. Theoretisch müßte man sogar durch passende Krümmung der Schaufel und passende Geschwindigkeit der Schaufel imitande sein,  $c_a$  zu Null zu machen. Das ist aber deswegen unmöglich, weil ja das Wasser dann, wenn es gar keine Geschwindigkeit mehr hätte, nicht mehr aus der Schaufel heraus könnte. Da es also von der Schaufel wieder abflie-

ßen muß, kann tatsächlich  $c_a$  nicht gleich Null gemacht werden, es wird sich nur darum handeln,  $c_a$  so klein zu machen als möglich, weil jedes Kilogramm Wasser, welches mit der Geschwindigkeit  $c_a$  die Schaufel verläßt, eine lebendige Kraft, d. h. ein Arbeitsvermögen von  $\frac{m c_a^2}{2}$  oder, weil 1 kg Wasser die Masse  $\frac{1}{g}$  hat, ein Arbeitsvermögen von  $\frac{c_a^2}{2g}$  mkg unbenußt mit sich fortnimmt.

**Grundform einer Turbine.** Abb. 18 zeigt, wie man eine Vereinigung solcher gekrümmten Schaufeln als Kraftmaschine benutzen kann. Der einzige Unterschied gegenüber der vorher besprochenen Anordnung besteht darin, daß sich die Schaufeln nicht geradlinig fortbewegen, sondern um eine Achse herumlaufen. Da die Schaufeln jedoch sehr kurz sind, das Wasser sich also in ihnen nur sehr kurze Zeit aufhält, und außerdem der Durchmesser des Schaufelrades in der Regel verhältnismäßig groß ist, kann die Bewegung der Schaufeln mit großer Annäherung für die kurze Zeit, während deren ein Flüssigkeitsteilchen mit ihnen in Berührung ist, entsprechend unseren früheren Betrachtungen als geradlinig angesehen werden. Man nennt eine derartige Kraftmaschine allgemein eine Turbine, und je nachdem die „Flüssigkeit“, welche man an den Schaufeln entlang gleiten läßt, in Wasser oder Dampf oder auch wohl heißen Gasen besteht (man kann im weiteren Sinne des Wortes wohl alles dreies als „Flüssigkeiten“ bezeichnen), spricht man von Wasserturbinen (meist schlechtweg als Turbinen bezeichnet), Dampfturbinen oder Gasturbinen.



Die Leistung, welche eine solche Turbine theoretisch abzugeben imstande ist, läßt sich nach den eben angegebenen Erörterungen verhältnismäßig einfach angeben. Strömen in der Sekunde  $G$  Kilogramm Flüssigkeit (Wasser, Dampf, heiße Luft) in das Schaufelrad der Turbine mit einer absoluten Geschwindigkeit von  $c$  Metern in der Sekunde, und verläßt die Flüssigkeit das Schaufelrad mit einer absoluten Geschwindigkeit von  $c_a$  Metern in der Sekunde, so ist, wenn  $g$  wiederum die Größe der Fallbeschleunigung ( $= 9,81$ ) darstellt, die Masse

der in der Sekunde durchströmenden Flüssigkeit  $m = \frac{G}{g}$ , die lebendige Kraft der zuströmenden Flüssigkeit  $L_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} c^2$ , die lebendige Kraft der austretenden Flüssigkeit  $L_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} c_a^2$ , folglich die an das Schaufelrad übertragene Arbeit in der Sekunde

$$A = L_1 - L_2 \text{ mkg.}$$

Arbeit in der Sekunde bezeichnet man aber als Leistung und mißt sie nach Sekundenmeterkilogramm. Es wäre also die Leistung dieser Turbine

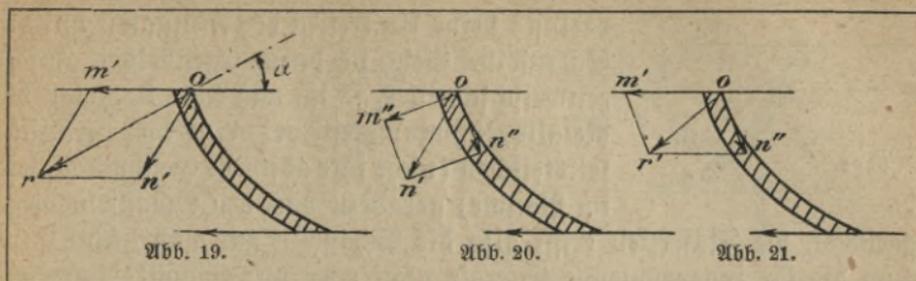
$$E = \frac{G}{2g} (c - c_a^2) \text{ mkg/sek,}$$

oder da bekanntlich 75 mkg/sek 1 PS darstellen, so beträgt die Anzahl der an das Schaufelrad übertragenen Pferdestärken oder die theoretische Leistung der Turbine

$$N = \frac{A}{75} = \frac{L_1 - L_2}{75} = \frac{1}{75} \cdot \frac{G}{2g} (c^2 - c_a^2) \text{ PS.}$$

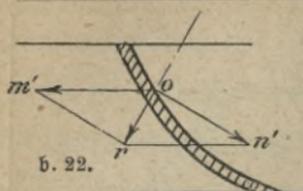
**Wechselnde Schaufelgeschwindigkeit.** Wir hatten früher gesehen: Wenn ein Flüssigkeitsteilchen mit der absoluten Geschwindigkeit  $or$  (Abb. 17 S. 63) auf die Schaufel  $ab$  trifft, welche sich gerade mit der Geschwindigkeit  $om$  vorwärts bewegt, so gleitet das Wasser zunächst ohne jeden Einfluß auf die Bewegung der Schaufel an der Schaufel entlang, weil die Richtung des oberen Schaufelteiles der Verbindungslinie  $mr$  parallel ist. Nach unseren früheren Betrachtungen über die Relativgeschwindigkeiten (S. 62) ist dabei die Bewegung des Wassers in bezug auf die Schaufel gerade so, als wenn die Schaufel stände und dafür das Wasser nicht in der ursprünglichen Richtung  $or$ , sondern in der Richtung  $on$  und mit der der Länge dieser Strecke entsprechenden Geschwindigkeit auf die Schaufel aufläuft. Daß aber ein solches Auftreffen des Wassers auf die Schaufel ohne jeden Stoß erfolgen muß, ist ohne weiteres ersichtlich.

Wir wollen nun annehmen, Gestalt und Bewegungsrichtung der Schaufel sowie Richtung und Geschwindigkeit des auftreffenden Flüssigkeitsstrahles bleiben genau dieselben, nur die Geschwindigkeit der Schaufel werde verringert und betrage nicht mehr  $om$ , sondern nur noch  $om'$  (Abb. 19). Ziehen wir wieder durch die Endpunkte der gegebenen Strecken  $om'$  und  $or$  die Verbindungslinie  $m', r$  und durch  $o$  dazu eine Parallele  $on'$ , so sieht man, daß jetzt eigentlich der oberste Teil



der Schaufel nicht mehr die Richtung  $on$ , sondern die Richtung  $on'$ , haben müßte, wenn das Wasser die Schaufel wiederum ohne Stoß, und zunächst ohne jeden Einfluß auf die Schaufel treffen sollte. Da eine solche Änderung der Schaufeln bei jeder Änderung der Umlaufszahl natürlich unmöglich ist, wollen wir sehen, was hierdurch für Folgen eintreten. Es ist  $on'$  die Geschwindigkeit mit welcher sich ein Flüssigkeitsteilchen relativ gegen die Schaufel (nicht absolut im Raume!) bewegen möchte. Zerlegt man nun (Abb. 20) diese Relativgeschwindigkeit in eine Geschwindigkeit  $on''$  in Richtung der Schaufel und in eine Geschwindigkeit  $om''$  senkrecht zur Schaufel, so stellt  $on''$  diejenige Geschwindigkeit dar, mit welcher sich das Flüssigkeitsteilchen nun tatsächlich relativ an der Schaufel entlang bewegt. Setzt man jetzt wieder (Abb. 21) die Geschwindigkeit  $om''$  der Schaufel mit der wahren Relativgeschwindigkeit  $on''$  zu einer absoluten Geschwindigkeit  $or'$  zusammen, so erkennt man, daß  $or'$  wesentlich kleiner geworden ist als  $or$ . Es ist also der diesem Unterschiede entsprechende Betrag an lebendiger Kraft durch das unzweckmäßige, mit Stoß verbundene Auftreffen des Wasserstrahles auf die für diese Umlaufgeschwindigkeit des Schaufelrades nicht richtig gekrümmte Schaufel verloren gegangen. In der That beweist die Mechanik, daß jedes stoßweise Auftreffen zweier bewegter Körper mit einem Energieverlust verknüpft ist. Daß die Energie nicht wirklich verschwindet, sondern sich nur in andere Formen, z. B. Wärme, umwandelt, ist nach dem Satze von der Erhaltung der Energie ohne weiteres einleuchtend (s. Anm. S. 45).

Aus diesen Betrachtungen folgt aber das sehr wichtige Ergebnis, daß jede Turbine nur eine einzige ganz bestimmte Umfangsgeschwindigkeit, also auch nur eine einzige ganz bestimmte Umdrehzahl besitzt, bei welcher sie mit größter Wirtschaftlichkeit arbeitet. Geht sie zeitweise langsamer, als es dieser einen Umdrehzahl entspricht, so entstehen, wie wir eben gesehen haben, sofort Stoß-



verluste beim Auftreffen der Flüssigkeit auf die Schaufeln. Geht sie durch irgendeinen Zufall zeitweise schneller, so ist, wie Abb. 22 zeigt, die Relativgeschwindigkeit der einzelnen Flüssigkeitsteilchen (nicht ihre absolute Geschwindigkeit im Raume) geradezu von den Schaufeln weggerichtet, die Flüssigkeit trifft also die Schaufeln gar nicht, kann also auch die ihr innewohnende Energie nicht oder nur unvollkommen an die Schaufeln abgeben.

**Bestimmung der Schaufelform.** Es stelle noch einmal Abb. 22 a den Schnitt durch ein Stück des Schaufelkranzes einer Turbine dar, und es sei Richtung  $\alpha$  und Geschwindigkeit  $c$  des ankommenden Flüssigkeitsstrahles ein für allemal dieselbe, dann ergibt sich aus den vorhergehenden Betrachtungen folgendes:

1. Es kann zunächst, d. h. solange die Schaufelform noch nicht gegeben ist, die Umfangsgeschwindigkeit  $u$  des Rades, dargestellt durch die Strecke  $u$  (und damit bei gegebener Größe des Turbinenrades auch die Umdrehzahl des Rades) beliebig gewählt werden. Durch passende Gestaltung der Schaufelneigung beim Eintritt der Flüssigkeit in die Schaufeln läßt es sich dann immer so einrichten, daß die Flüssigkeit die Schaufeln ohne Stoß trifft, also auch kein Energieverlust durch Stoß der Flüssigkeit auf die Schaufel eintritt. Die Abb. 23 a—c zeigen solche Verschiedenheiten der Schaufelgestaltung bei verschiedenen Umfangsgeschwindigkeiten des Turbinenrades, aber gleichen  $c$  und  $\alpha$ .

2. Ist  $\alpha$ ,  $c$  und  $u$  gegeben, so ist nicht nur, wie wir oben gesehen hatten, die Neigung der Schaufel am Anfang gegeben, sondern auch, wie wir früher (S. 62) gesehen hatten, Richtung und Größe der Relativgeschwindigkeit  $w$ , mit welcher sich die Flüssigkeit an der Schaufel entlang bewegt.

3. Durch richtige Gestaltung des weiteren Ver-

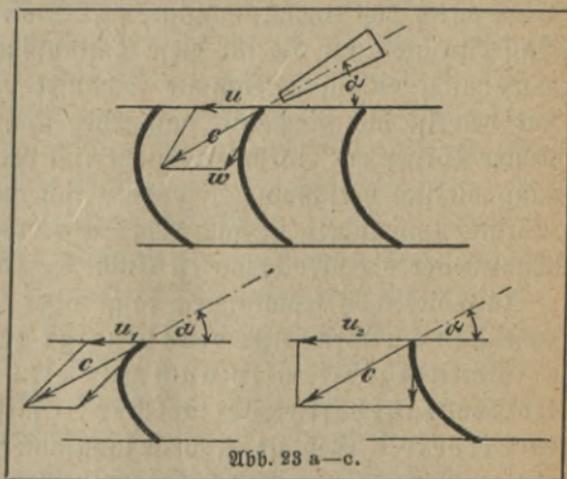


Abb. 23 a—c.

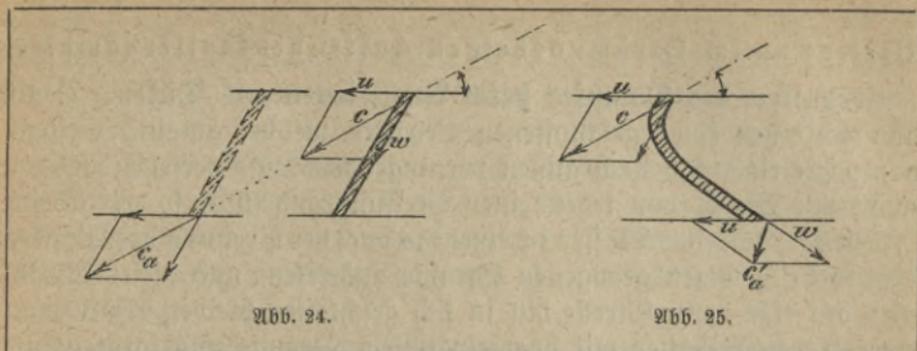


Abb. 24.

Abb. 25.

laufes der Schaufelkrümmung läßt sich ein beliebiger Bruchteil der dem Flüssigkeitsstrahle beim Eintritte in das Schaufelrad innewohnenden lebendigen Kraft in Arbeit umsetzen, welche auf die Schaufel übertragen wird. Abb. 24 zeigt zunächst noch einmal eine Schaufel, welche vollständig gerade ist. Die Folge dieser Schaufelgestaltung ist, daß die Flüssigkeit mit (angenähert) derselben absoluten Geschwindigkeit  $c_a = c$  von der Schaufel wieder abfließt, mit der sie die Schaufel getroffen hat; die in Arbeit umgesetzte lebendige Kraft ist daher einfach gleich Null.

Bei Abb. 25 dagegen fließt bei demselben  $\alpha$ ,  $c$ ,  $u$  und  $w$  das Wasser nur noch mit einer absoluten Geschwindigkeit  $c'_a$  von der Schaufel ab. Die von dem Flüssigkeitsstrahle an die Schaufel übertragene Arbeit ist daher, wie wir früher (S. 56) bewiesen hatten, wenn  $m$  die Masse des Flüssigkeitsstrahles:

$$A = \frac{m(c^2 - c_a'^2)}{2};$$

oder wenn in der Sekunde ein Flüssigkeitsgewicht von  $G$  kg durch die Schaufel strömt und  $g$  wie früher die Erdbeschleunigung bezeichnet, so ist die an die Schaufel sekundlich übertragene Arbeit allgemein

$$A = \frac{G}{g} \left( \frac{c^2 - c_a'^2}{2} \right) \text{ mgk};$$

durch passende Wahl der Schaufelkrümmung, d. h. durch passende Wahl der absoluten Austrittsgeschwindigkeit  $c_a'$ ,

hat man es also in der Hand, dem Flüssigkeitsstrahle bei seinem Wege durch das Schaufelrad einen beliebigen Bruchteil der ihm innewohnenden Geschwindigkeit und damit auch der ihm innewohnenden Energie oder lebendigen Kraft zu entziehen, ein Ergebnis, welches für die spätere Betrachtung der Dampfturbinen von ganz hervorragender Bedeutung ist.

### Viertes Kapitel: Strömungseigenschaften des Wasserdampfes.

**Verhalten des Dampfes beim Ausströmen aus Düsen.** Denkt man sich einen rings geschlossenen Behälter, welcher an einer Seitenwand mit einer sich nach außen verjüngenden Düse versehen ist, zunächst mit Wasser von irgendeiner Pressung angefüllt, so wird beim Öffnen der Düse das Wasser in einem je nach der Pressung des Wassers mehr oder weniger gebogenen Strahle austreten, und dieser Strahl wird auf eine weite Strecke hin in sich geschlossen bleiben. Füllt man dagegen den Behälter mit hochgespanntem Dampfe und sorgt dafür, daß er auch stets mit Dampf von derselben Spannung gefüllt bleibt (man denke an einen Dampfkessel zum Betriebe einer Dampfmaschine), so würde beim Öffnen der Düse eine ganz andere Erscheinung eintreten: Der Dampf tritt zwar auch zunächst in einem Strahle aus, dieser Strahl bleibt aber nur eine kleine Strecke hin in sich geschlossen und breitet sich dann sehr bald nach allen Seiten aus. Setzt man dagegen eine Düse ein, welche sich nach außen hin erweitert, so wird, vorausgesetzt, daß diese Erweiterung in der richtigen Weise berechnet ist, der Dampf in einem Strahle austreten, der auf eine verhältnismäßig lange Strecke in sich geschlossen bleibt, der also nicht das Bestreben zeigt, sich sofort nach allen Seiten hin auszubreiten.

Schon aus diesen ganz einfachen Versuchen erkennt man, daß die Strömungseigenschaften des Dampfes gewisse Eigentümlichkeiten aufweisen, und da diese Strömungseigenschaften für das Verständnis der Wirkung des Dampfes in den Dampfturbinen von größter Wichtigkeit sind, sollen sie hier, soweit es dem vorliegenden Zwecke entspricht, etwas genauer betrachtet werden.

**Versuche mit verjüngten Düsen.** Denken wir uns zunächst ein mit hochgespanntem, gesättigtem Wasserdampfe gefülltes Gefäß *a* (Abb. 26) welches an irgendeiner Stelle mit einer sich nach außen verjüngenden Düse versehen ist. Die Mündung dieser Düse führe in ein anderes Gefäß *b*, in welchem sich etwa ebenfalls Dampf befinden möge. Es soll

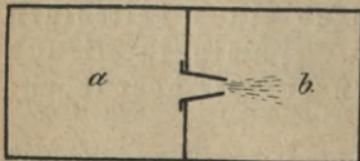


Abb. 26.

nun angenommen werden, daß es möglich sei, die Spannung des Dampfes in dem Gefäße *a* stets gleichbleibend auf derselben Höhe zu erhalten, beispielsweise auf 10 at abs, während es andererseits möglich sei, die Spannung des Dampfes in dem

Gefäß *b* nach Belieben zu verringern, und zwar nicht bloß bis auf den Druck der Außenluft, sondern sogar annähernd bis auf den Druck Null, z. B. bei Anwendung eines Kondensators. Mit dieser Vorrichtung wollen wir uns nun eine Reihe von Versuchen angestellt denken.

Erste Versuchsreihe. Der Druck in beiden Gefäßen sei gleich groß. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß in diesem Falle der Dampf in beiden Gefäßen *a* und *b* im Ruhezustande bleiben wird, wie hoch oder wie niedrig auch die Dampfspannung in den beiden Gefäßen gewählt werden möge.

Zweite Versuchsreihe. Während der Druck im Gefäß *a* dauernd auf 10 at abs erhalten bleibt, vermindern wir den Druck im Gefäße *b* stufenweise allmählich auf 5,7 at abs. Die Folge ist, daß der Dampf aus dem Gefäße *a* in das Gefäß *b* überströmt, und zwar mit um so größerer Geschwindigkeit, je mehr der Druck im Raume *b* abnimmt.

Um die Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes wirklich zu finden, braucht man nur die Gewichtsmenge des Dampfes zu messen, welcher in einem gewissen Zeitraume aus *a* ausströmt. Bezeichnet man das Volumen, welches ein kg gesättigten Wasserdampfes bei 10 at abs einnimmt, mit *v* cbm (die Größe dieser Zahl ist aus Tabellen zu entnehmen) und hat man gefunden, daß in 1 sek *G* kg Dampf aus dem Gefäße *a* ausgeströmt sind, so sind in einer Sekunde offenbar *G · v* cbm Dampf durch die Düse geströmt. Hat nun die Düse einen Querschnitt von *f* qm, so war die Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes

$$c = \frac{G \cdot v}{f} \text{ m/sek,}$$

weil ja durchströmendes Volumen (*G · v*) gleich sein muß dem Produkte aus Querschnitt *f* mal Durchtrittsgeschwindigkeit *c*.

Denken wir uns nun hier eine Reihe solcher Geschwindigkeitsversuche angestellt, so finden wir, daß die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf aus dem Gefäße *a* in das Gefäß *b* überströmt, allmählich bis auf rund 450 m/sek steigt, wenn die Spannung im Gefäße *b* allmählich bis auf 5,7 at abs verringert wird.

Dritte Versuchsreihe. Während die Spannung von 10 at abs im Gefäße *a* erhalten bleibt, verringern wir die Spannung im Gefäße *b* stufenweise beliebig weit unter 5,7 at abs und stellen jeweils Messungen an bezüglich der Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch die Düse strömt. Das Ergebnis ist im höchsten Grade überraschend! Die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch die Düse

strömt, bleibt von nun an dieselbe (etwa rund 450 m/sek), wie weit wir auch die Spannung im Gefäße  $b$  vermindern.

Vierte Versuchsreihe. Wir wiederholen die Versuchsreihen 2 und 3 mit der Abänderung, daß wir in dem Gefäße  $a$  anstatt der Spannung von 10 at zunächst mehrmals verschiedene höhere und darauf mehrmals verschiedene tiefere Spannungen als 10 at abs annehmen. Erniedrigen wir dann bei jedem derartigen Versuche, gerade so wie in den Versuchsreihen 2 und 3, stufenweise allmählich die Spannung in dem Gefäße  $b$  und messen die jeweilige Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch die Düsen in das Gefäß  $b$  einströmt, so finden wir die folgenden eigenartigen Ergebnisse:

a) Die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf aus dem Gefäße  $a$  durch die Düse in das Gefäß  $b$  einströmt, nimmt jedesmal nur so lange zu, bis die Spannung im Gefäße  $b$  0,57 mal so groß ist als die Spannung im Gefäße  $a$ , oder kürzer ausgedrückt, so lange bis  $p_b = 0,57 p_a$  (oder  $p_a = 1,75 p_b$ ).

b) Sowie  $p_b = 0,57 p_a$  erreicht ist, hat der die Düse durchströmende Dampf, ganz gleichgültig, wie hoch  $p_a$  sein möge, eine Geschwindigkeit von ungefähr 450 m/sek und diese Geschwindigkeit bleibt annähernd dieselbe, wie weit auch die Spannung im Gefäße  $b$  erniedrigt wird.

Aus diesen beiden Ergebnissen a und b folgt endlich durch eine einfache Überlegung:

c) Der Druck  $p_o$  in der Ausflußöffnung selber kann nie tiefer sinken als  $p_o = 0,57 p_a$ . Wenn also  $p_a$  auch wesentlich größer ist als  $1,75 p_b$ , so herrscht in der Mündungsebene selber doch immer nur der Druck  $p_o = 0,57 p_a$ , und der diese Mündungsebene durchströmende Dampf hat eine fast bei allen Spannungen  $p_a$  gleichbleibende Ausflußgeschwindigkeit von rund 450 m/sek.

Diese Ergebnisse, die wir uns hier durch eine Reihe von Versuchen gefunden dachten, deren Richtigkeit sich aber auch rechnerisch nachweisen läßt, sind jedenfalls so überraschend, daß man unwillkürlich nach einer Art Erklärung sucht, und diese Erklärung ist etwa die folgende: Wenn der hochgespannte Dampf aus der Düse in einen Raum hinaustritt, in welchem eine wesentlich geringere Spannung herrscht, so hat er das Bestreben, sich plötzlich nach allen Seiten hin stark auszudehnen. Dieses Ausdehnen geschieht nun aber nicht bloß nach vorn und nach den Seiten, sondern auch nach rückwärts, und es findet dadurch ein Zurückstauen des austretenden Dampfes statt, welches natürlich gerade um so stärker

sein wird, je mehr Ausdehnungsbestreben der Dampf besitzt, d. h. je größer der Unterschied der Spannungen  $p_a$  und  $p_b$  ist.

**Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.** Die durch die Versuchsreihen 3 und 4 gefundenen Ergebnisse sind nun für das Verständnis der Dampfturbinen von großer Bedeutung. Wenn der durch die Düse strömende Dampf stets ungefähr dieselbe Geschwindigkeit von  $c_0 = 450$  m/sek hat, ganz gleichgültig, wie hoch die Spannung im Gefäße  $a$  auch sein möge, so hat eben auch jedes Kilogramm Dampf, welches in der Sekunde durch die Düse strömt, gleichmäßig die lebendige Kraft

$$\frac{m c_0^2}{2} = \frac{1}{g} \cdot c_0^2 = \frac{1}{9,81} \cdot 450^2 = \sim 10000 \text{ mkg},$$

ganz gleichgültig, ob ich z. B. Dampf von 5 at oder Dampf von 15 at erzeuge.

Da die Wirkung der Dampfturbinen auf der Ausnutzung der lebendigen Kraft des strömenden Dampfes beruht, wäre es nach diesen Erfahrungen unwirtschaftlich, hochgespannte Dämpfe in der eben besprochenen Weise zum Antriebe von Dampfturbinen zu benutzen. Andererseits lehrt nun aber wieder die mechanische Wärmetheorie, daß es unwirtschaftlich ist, Dampf von niedriger Spannung zum Betriebe von Kraftmaschinen zu verwenden, und so müßte man denn aus wirtschaftlichen Gründen überhaupt darauf verzichten, den Dampf in Dampfturbinen zu verwenden, wenn es nicht möglich wäre, dem hochgespannten Dampfe eine wesentlich höhere Austrittsgeschwindigkeit und damit eine wesentlich höhere lebendige Kraft zu erteilen.

**Erweiterte Düsen.** Das ist nun in der Tat möglich! Wir hatten gesehen, wenn hochgespannter Dampf aus einer einfachen Öffnung oder einer sich verjüngenden Düse plötzlich in einen Raum von wesentlich niedrigerer Spannung eintritt, so wird die in dem Dampfe steckende Energie dazu verbraucht, um den Dampf sofort nach allen Seiten hin auszudehnen, so daß also der Dampf nicht als geschlossener Strahl austreten kann. Wenn wir nun aber an die bei den früheren Versuchen benutzte Öffnung noch eine Düse ansetzen würden, die sich nach außen, also nach dem damaligen Raume  $b$  hin, allmählich erweitert (Abb. 27), so müßte offenbar folgendes eintreten: der aus der früher benutzten Öffnung austretende Dampf könnte und

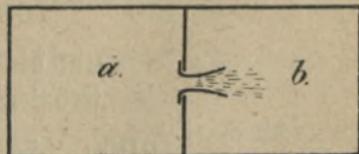


Abb. 27.

müßte sich auch hier ausdehnen. Da ihn aber die Wandungen der sich erweiternden Düse verhindern, sich, wie früher, nach allen Seiten hin auszudehnen, so wird jetzt die in dem Dampfe steckende Energie dazu benutzt werden, um den Dampf vor allen Dingen sozusagen nach vorn hin auszudehnen, mit anderen Worten: die in dem Dampfe noch steckende Energie wird dazu benutzt werden, um den Dampf noch weiter zu beschleunigen, und die Folge davon wird wieder die sein, daß jetzt der Dampf aus der erweiterten Düsenöffnung mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit  $c_2$  austreten wird. Wird dann noch die Düse so lang gemacht und in richtiger Weise derartig erweitert, daß beim Austreten aus der erweiterten Düsenöffnung der Dampf gerade genau die Spannung des Ausströmraumes, also die in dem früheren Raume  $b$  herrschende Spannung erreicht hat (diese Erweiterung der Düse läßt sich nach den Regeln der Theorie des Wasserdampfes verhältnismäßig einfach berechnen), so kann offenbar auch der Dampf nicht mehr das Bestreben haben, sich nach allen Seiten hin auszudehnen. Mit anderen Worten: der Dampf wird nun als ein geschlossener Strahl aus der Mündung der erweiterten Düse austreten, und zwar jetzt mit um so größerer Geschwindigkeit  $c_2$ , je größer der Druckunterschied zwischen dem Raume  $a$  und  $b$  ist. Da nun, wie wir früher (S. 54) gesehen hatten, die lebendige Kraft einer strömenden Flüssigkeit im Quadrate ihrer Geschwindigkeit wächst ( $L = \frac{m c^2}{2}$ ), so erkennt man, welche gewaltigen Vorteile bei dieser Anordnung die Anwendung hochgespannten Dampfes ( $p_a$ ) bei möglichst tiefer Spannung  $p_b$  im Ausströmraume bietet, im Gegensatz zu der früher besprochenen Anordnung ohne Anwendung einer sich erweiternden Düse.

Nimmt man für  $c_0$ , die Dampfgeschwindigkeit an der engsten Stelle der Düse, einen runden für alle Spannungen  $p_a$  gleichbleibenden Wert von 450 m/sek an, so findet man durch Rechnung, deren Durchführung hier nicht angängig ist, folgendes: Wenn

$$p_a = \quad 1,75 \quad 4 \quad 10 \quad 50 \quad 100 \text{ mal}$$

so groß ist als  $p_b$ , dann wird

$$c_2 = \quad 450 \quad 700 \quad 880 \quad 1090 \quad 1160 \text{ m/sek,}$$

und die lebendige Kraft eines jeden Kilogramm ausströmenden Dampfes in runden Zahlen

$$L = \frac{1}{g} \cdot \frac{c_2^2}{2} = 10\,000 \quad 24\,500 \quad 39\,500 \quad 59\,500 \quad 67\,100 \text{ mkg.}$$

## Zweiter Abschnitt: Verwendung des Dampfes in den verschiedenen Arten von Dampfturbinen.

### Erstes Kapitel: Allgemeines über Dampfturbinen.

**Allgemeine Bauart.** Wir hatten im vorigen Kapitel gesehen, daß es drei Bedingungen sind, welche erfüllt sein müssen, damit eine möglichst wirtschaftliche Ausnutzung des strömenden Wasserdampfes in Dampfturbinen stattfinden kann, nämlich:

1. möglichst hohe Anfangsspannung,
2. möglichst tiefe Endspannung,
3. nicht plötzliche, sondern allmähliche Ausdehnung des Dampfes von der Anfangsspannung auf die Endspannung.

Nehmen wir an, die beiden ersten Bedingungen wären erfüllt, d. h. wir hätten z. B. einen Dampfkessel, der uns genügende Mengen trocken gesättigten Dampfes von 10 at abs liefert, und ebenso wären wir im Besitze eines Kondensators, vermittels dessen wir imstande wären, uns einen Druck von 0,2 at abs mit Leichtigkeit zu verschaffen. Eine Dampfturbine zur Ausnutzung der Energie des strömenden Wasserdampfes könnte dann etwa so aussehen, wie die Gerippskizze (Abb. 28) zeigt.

Auf einer wagerechten Welle sitzt ein Rad, welches an seinem Umfange mit einer großen Zahl von Schaufeln besetzt ist. Durch die Schaufeln dieses Rades ströme Dampf aus einer oder mehreren Düsen, deren nach dem Turbinenrade zunehmende Erweiterung in der Weise berechnet ist, daß der aus dem Kessel mit 10 at vor der Düse ankommende Dampf beim Austritt aus der Düse und Eintritt in die Schaufeln sich auf die im Kondensatorraume herrschende Spannung von 0,2 at ausgedehnt hat. Abb. 29, S. 76 zeigt die Hauptteile einer solchen Turbine

(Welle, Schaufelrad und Düsen; De-Laval-Turbinenrad und Düsen der Maschinenfabrik Humboldt in Kalk bei Köln) in perspektivischer Ansicht. Betrachtet man die Abbildung von der rechten Seite aus, so erkennt man die Ähnlichkeit mit der früheren Abb. 18 S. 65.

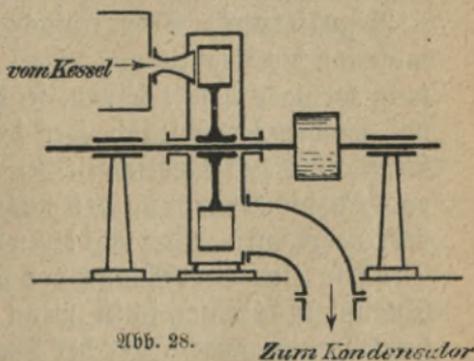


Abb. 28.

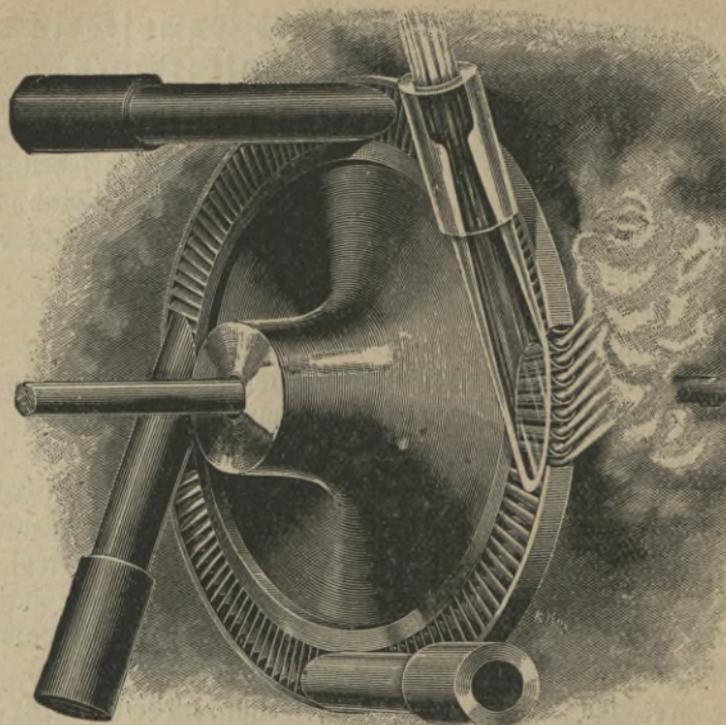


Abb. 29.

**Regulierung.** Sehr einfach gestaltet sich bei einer solchen Kraftmaschine die Regulierung. Soll nämlich die Dampfturbine eine Zeitlang weniger Arbeit leisten, so kann das z. B. in der Weise geschehen, daß entweder von Hand oder durch die selbsttätige Einwirkung eines Regulators der Querschnitt der Hauptdampfzuleitung verringert und dadurch die Spannung des nach den Düsen hinströmenden Dampfes verringert wird. Man sagt dann: der Dampf wird gedrosselt. Da dieses Drosseln eine Vernichtung der vorher in dem Kessel erzeugten hohen Spannung bedeutet, so ist, wenn es sich um große Leistungsunterschiede handelt, eine andere Art der Regulierung besser, welche darin besteht, daß bei verringertem Arbeitsbedarfe eine oder mehrere der vorhandenen Düsen überhaupt für den Dampftritt gesperrt werden. Wenn sich hierdurch auch nur eine stufenweise Regulierung erzielen läßt, so bietet diese Art der Regulierung gegenüber der erstgenannten Art doch große wirtschaftliche Vorteile. Die heute gebräuchliche Regulierungsart bei

fast sämtlichen Dampfturbinensystemen ist in der Regel die, daß zunächst eine gröbere Regulierung durch Veränderung der Zahl der beaufschlagten Düsen vorgenommen wird, während die feinere Regulierung dann durch geringe Drosselung des Dampfes geschieht.

**Hohe Umdrehzahl.** Erinnern wir uns nun noch einmal an die Erwägungen, die wir früher (S. 68) über die Form der Schaufelkrümmung angestellt hatten. Wir hatten damals gesagt, daß, wenn die Eintrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in die Schaufeln des Rades ihrer Richtung und Größe nach gegeben ist, die Richtung der ersten Schaufelteilchen erst dann gefunden werden kann, wenn auch die Umfangsgeschwindigkeit des Rades gegeben ist. Nach Regeln der allgemeinen Turbinentheorie, deren Ableitung hier zu weit führen würde, wird die Ausnutzung der Strömungsenergie einer Flüssigkeit dann am vollkommensten sein, wenn die Umfangsgeschwindigkeit  $u$  des Schaufelrades etwa halb so groß ist als die absolute Eintrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in das Rad, wenn also ungefähr  $u = \frac{1}{2} c$ . (Man versteht dabei, wie hier noch einmal hervorgehoben sei, unter Umfangsgeschwindigkeit  $u$  des Schaufelrades denjenigen in Metern gemessenen Weg, den ein Punkt des Schaufelradumfangs in einer Sekunde zurücklegt).

Die Befolgung dieser Regel bringt nun für unsere eben beschriebene und unter den dort angegebenen Verhältnissen arbeitende Dampfturbine einen eigentümlichen Übelstand mit sich. Nach den Angaben der Tabelle auf S. 74 hat nämlich der aus der Düse ausströmende Dampf eine Geschwindigkeit von  $c = 1090$  m/sek, so daß nach der oben angegebenen Regel für eine möglichst vollkommene Ausnutzung der Strömungsenergie unser Turbinenrad eine Umfangsgeschwindigkeit von etwa 500 m/sek bekommen muß. Mit anderen Worten: jeder Punkt am Umfange unseres Turbinenrades muß in einer Sekunde einen Weg von 500 m/sek zurücklegen. Hat nun z. B. das Rad einen Durchmesser von 0,5 m, so beträgt der Umfang des Rades bekanntlich  $0,5 \cdot 3,14 = 1,57$  m, und es muß also, damit ein Punkt des Radumfangs in der Sekunde einen Weg von 500 m zurücklegt, das Rad und damit auch die Turbinenwelle in der Sekunde (in abgerundeten Zahlen)  $\frac{500}{1,57} = \sim 320$  oder in der Minute  $60 \cdot 320 = \sim 19000$  Umdrehungen machen. Es ist wohl ohne weiteres klar, daß mit einer derartig hohen Umdrehzahl nichts anzufangen ist, und es fragt sich nun: welche Hilfsmittel gibt

es, um die Dampfturbine zu einer brauchbaren Kraftmaschine umzugestalten, oder mit anderen Worten:

Welche Hilfsmittel gibt es, um die Umdrehzahl der die Kraft fortleitenden Welle auf ein in der Technik brauchbares Maß zurückzuführen?

### Zweites Kapitel: Hilfsmittel zur Erniedrigung der Umdrehzahl. Turbinensysteme.

**Einstufige Turbinen.** Das für den Erbauer von Maschinen zunächst liegende Hilfsmittel, um hohe Umdrehzahlen in niedrige zu verwandeln, ist die Anwendung von Zahnrädern, und in der That wurde dieses Hilfsmittel auch gleich bei derjenigen Dampfturbine angewendet, welche wohl zuerst eine weitergehende Verwendung gefunden hat: der Dampfturbine des Schweden de Laval, meist kurz Laval'sche Dampfturbine genannt. Der Aufbau dieser Dampfturbine ist im allgemeinen derselbe wie der Aufbau der in Abb. 28 S. 75 skizzierten Dampfturbine, nur mit dem Unterschiede, daß auf der eigentlichen Turbinenwelle, d. h. der Schaufelradwelle, ein kleines Zahnrad sitzt, welches seinerseits in ein auf einer zweiten Welle sitzendes großes Zahnrad eingreift. Diese zweite Welle, deren Umdrehzahl im Verhältnis der Zahnradübersetzung gegenüber der ersten Welle verkleinert ist, stellt dann die Kraftmaschinenwelle dar, von welcher aus die in der Dampfturbine erzeugte Kraft etwa vermittels eines Treibriemens oder durch Hanfseile weitergeleitet werden kann.

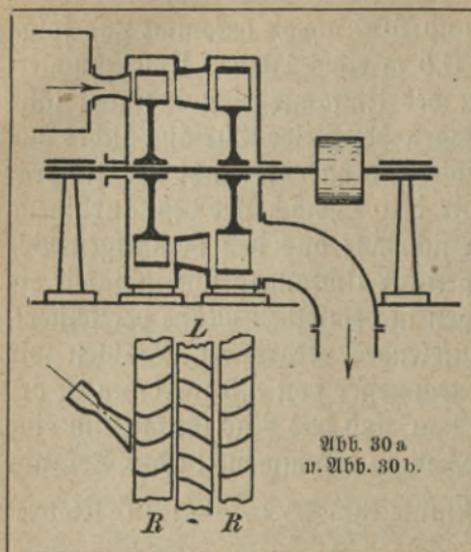
Die Laval-turbine eignet sich ihrer Bauart nach aus verschiedenen Gründen nur für verhältnismäßig geringe Leistungen — etwa bis zu 300 PS —, bei denen aber der Dampfverbrauch aller Turbinen ein so hoher ist, daß sie nur dort in Frage kommen, wo die Wirtschaftlichkeit gegenüber den sonstigen Vorzügen, wie geringer Raumbedarf, gleichmäßige Drehbewegung usw. (S. 93) eine untergeordnete Rolle spielt. Da es nun heute für solche Zwecke wesentlich einfachere Bauarten von Dampfturbinen gibt, ohne die umständliche und teure Zahnradübersetzung, ist die Laval-turbine allmählich vom Markte verschwunden. Über Anwendung von Zahnrädern bei neuzeitlichen Dampfturbinen s. S. 110.

Ein zweites mechanisches Hilfsmittel, welches ebenfalls naheliegt, ergibt sich aus unserer Betrachtung auf S. 77. Wir hatten dort bestimmte Voraussetzungen für den Bau und den Betrieb einer Dampfturbine gemacht und hatten dabei gefunden, daß eine solche Turbine

eine Umfangsgeschwindigkeit von rund 500 m/sek bekommt und folglich bei einem Raddurchmesser von 0,5 m etwa 19 000 Umdrehungen in der Minute machen müßte. An der Umfangsgeschwindigkeit läßt sich nach unseren früheren Darlegungen bei dieser Turbine nichts ändern (S. 77), wohl aber könnten wir offenbar die Zahl der Umdrehungen dadurch verkleinern, daß wir den Durchmesser des Turbinenrades wesentlich größer machen, da sich, wie aus den damaligen Berechnungen leicht ersichtlich ist, bei gleicher Umfangsgeschwindigkeit die Anzahl der minutlichen Umdrehungen in demselben Maße verkleinert, als sich der Durchmesser des Schaufelrades vergrößert. Wählen wir z. B. für das Schaufelrad einen Durchmesser von 3,5 m, dann ist der Umfang des Rades  $3,5 \cdot 3,14 = 11$  m, und das Rad müßte, um eine Umfangsgeschwindigkeit von 500 m/sek zu bekommen, in der Sekunde  $\frac{500}{11} = \sim 45$  und folglich in der Minute  $60 \cdot 45 = \sim 2700$  Umdrehungen machen, eine Zahl, die z. B. für den Antrieb von Dynamomaschinen durchaus nicht zu hoch ist.

Turbinen dieser Art wurden seinerzeit von den Professoren Kiedler und Stumpf entworfen, zeigten aber bei den enorm hohen Dampfgeschwindigkeiten unter anderem eine so starke Abnutzung der in dem Kranz der Räder eingefrästen Schaufeln, daß ihr Bau sehr bald wieder aufgegeben wurde.

**Turbinen mit Geschwindigkeitsstufen**, Ausnutzung der hohen Dampfgeschwindigkeit in mehreren aufeinanderfolgenden, langsam laufenden Schaufelrädern. Es war auf S. 77 gesagt worden, daß, wenn man die Strömungsenergie einer Flüssigkeit in einem einzigen Schaufelrade möglichst vollkommen ausnutzen wolle, die Umfangsgeschwindigkeit des Schaufelrades etwa gleich der halben Dampfgeschwindigkeit sein müsse. Wählt man nun die Umfangsgeschwindigkeit wesentlich kleiner, dann können wir zwar auch für diesen Fall den Anfang der Schaufelkrümmung so bestimmen (S. 68), daß der Eintritt des Dampfes in die Schaufeln ohne Stoß und damit ohne Energieverlust erfolgt; es ist dann aber nicht mehr möglich, die Strömungsenergie des Dampfes in dem einen Rade vollständig auszunutzen, sondern der Dampf wird nun mit einer noch mehr oder minder bedeutenden Geschwindigkeit aus diesem Rade austreten. Um nun die Strömungsenergie auch dieses Dampfes noch auszunutzen, kann man ihm nach seinem Austritte aus dem ersten Schaufel- oder „Daufrade“ zunächst



durch feststehende Leitradschaukeln eine andere Richtung geben und dann noch einmal in ein zweites auf derselben Welle sitzendes Lauf- rad treten lassen, von hier aus unter Umständen noch einmal durch Leitradschaukeln in ein drittes Lauf- rad usw., bis seine Geschwindig- keit annähernd auf Null gesunken ist, seine Strömungsenergie also möglichst ausgenutzt ist.

Man spricht dann von Dampf- turbinen mit mehreren Ge- schwindigkeitsstufen. Ihre An- ordnung zeigen die Gerippfzissen Abb. 30 und 31. Bei Abb. 30 sind

zwei vollständig gesonderte, auf ein und derselben Welle sitzende Tur- binenlaufräder ausgeführt, zwischen denen, am Gehäuse der Turbine befestigt, die feststehenden Leitradschaukeln (bisweilen ein vollständiges „Leitrad“) zur Umkehr der Bewegungsrichtung des Dampfes angebracht sind. Abb. 30 b stellt das Stück eines Schnittes durch die Laufräder (R) und die Leitradschaukeln (L) dar. Abb. 31 zeigt eine lediglich bauliche Ab- änderung, und zwar derart, daß die beiden Schaufelkränze der Laufräder auf einem einzigen Radkörper angebracht sind, jedoch so, daß die Leit- radschaukeln zwischen den beiden Laufradschaufelkränzen Platz haben. Solche im neuzeitlichen Turbinenbau sehr viel angewendeten Räder pflegt man kurz mit dem Namen Geschwindigkeitsräder zu be- zeichnen.

Es möge hier noch einmal darauf hingewiesen werden, daß bei der vorliegenden Dampfturbinenart mit mehreren Geschwindigkeitsstufen die Spannung des Dampfes sich während des Hindurchstreichens durch die verschiedenen Laufrad- und Leitradschaukeln nicht ändert. Der aus der erweiterten Düse in das erste Laufrad einströmende Dampf hat sich bereits in der Düse vollständig bis auf die im Tur- binenraume herrschende Ausströmspannung (Außenluftdruck oder Kondensatorspannung) ausgedehnt, und es ist lediglich die Geschwindigkeit des Dampfes, welche sich während seines Hindurchströmens durch die Turbine ändert, d. h. verringert.



Abb. 31.

**Turbinen mit Druckstufen. Druckturbinen.** Alle bisherigen Hilfsmittel zur Verringerung der Umfangsgeschwindigkeit und damit zur Verringerung der Umlaufszahl der Turbinenräder gingen davon aus, daß der Dampf, bevor er aus der erweiterten Düse in die eigentliche Turbine eintritt, durch vollständige Ausnutzung des gesamten sog. „Druckgefälles“ (Unterschied zwischen größter und niedrigster Spannung) die größte Geschwindigkeit erhielt, die er bei dem vorliegenden Druckgefälle überhaupt bekommen konnte. Wenn wir nun aber das ganze vorhandene Druckgefälle in mehrere Teile zerlegen, d. h., wenn wir den Dampf aus dem damaligen Raume  $a$  mit höchster Spannung nicht sofort in den Raum  $b$  mit tiefster Spannung, sondern erst noch in einen oder mehrere Zwischenräume oder Kammern treten lassen, in welchen eine allmählich immer mehr abnehmende Spannung herrscht, so wird die Höchstgeschwindigkeit, die sich bei dem Überströmen des Dampfes von einem Raume in den jeweilig darauffolgenden Raum erzielen läßt, immer nur abhängen von dem jeweiligen Druckgefälle zwischen den aufeinanderfolgenden Räumen, und es läßt sich dieses Druckgefälle offenbar so einteilen, daß diese jeweiligen Überströmgeschwindigkeiten stets dieselbe Größe haben, die dann natürlich wesentlich geringer ist als jene höchste erzielbare Dampfgeschwindigkeit bei sofortiger Ausnutzung des gesamten Druckgefälles.

Vor einem Irrtum muß allerdings gewarnt werden. Wenn der Dampf in einer einstufigen Turbine unter gewissen, auf S. 74 angegebenen Verhältnissen mit einer Geschwindigkeit von rund 1000 m/sek aus der Düse ausströmt, so strömt er unter den gleichen Verhältnissen bei einer Turbine mit 2, 4, 8 usw. Druckstufen nicht etwa mit 500, 250, 125 usw. m/sek aus den einzelnen Düsen, sondern mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit, wie sich aus folgender Betrachtung ergibt: Nehmen wir an, es ströme in 1 sek gerade 1 kg Dampf durch die Düsen, dann ist die Masse dieses Dampfes nach den Erklärungen auf S. 65  $\frac{1}{g}$ , wobei  $g$  die Größe der Erdbeschleunigung (rund 10 m/sek<sup>2</sup>) darstellt. Die lebendige Kraft, d. h. die theoretische Arbeitsfähigkeit eines solchen mit  $c = 1000$  m/sek ausströmenden Dampfgewichtes ist dann nach S. 73  $= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{g} c^2 = \sim 50000$  mkg. Bei einer (ohne Verluste arbeitenden) Turbine mit 2, 4, 8 usw. Druckstufen muß also die in den sämtlichen Stufen zusammen geleistete Arbeit natürlich immer wieder 50000 mkg

betragen. Man findet daher z. B. bei einer achtfstufigen Turbine die theoretische Austrittsgeschwindigkeit in irgendeiner der 8 Stufen aus der Beziehung

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{g} x^2 = \frac{50000}{8} \quad \text{oder}$$

$$x = 350 \text{ m/sek.}$$

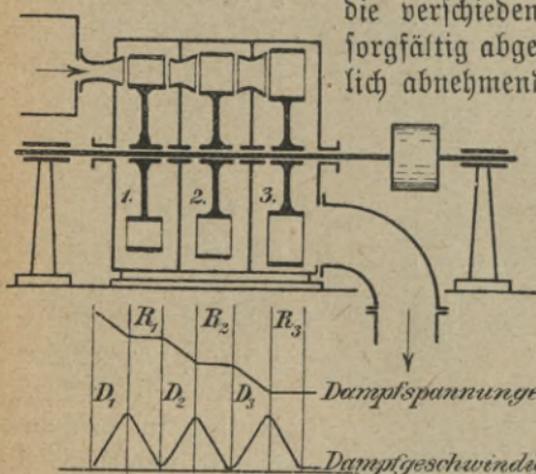
In derselben Weise ergibt die Berechnung bei einer Turbine mit 2, 4, 6 usw. Druckstufen eine Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes aus den einzelnen Düsen von rund 700, 500, 400 usw. m/sek. Eine andere Art der Berechnung vermittelt das J,S-Diagramm von Mollier s. d. Verf. „Techn. Wärmelehre“ (MuG Bd. 516).

Mit einer solchen Verminderung der Dampfgeschwindigkeit ist nun aber auch sofort die größte Schwierigkeit beseitigt, die sich, wie wir früher S. 77 gesehen hatten, der Verwendung des strömenden Dampfes zum Betriebe von Kraftmaschinen entgegenstellten, denn es liegt ja in unserer Gewalt, die Zahl dieser „Druckstufen“, wie die einzelnen kleineren Druckgefälle genannt werden, so groß zu wählen, daß wir eine, wenigstens theoretisch, beliebig geringe Dampfgeschwindigkeit bekommen, die sich dann in wirtschaftlicher Weise zur Ausnutzung in verhältnismäßig langsam laufenden Dampfturbinen verwenden läßt. Nur ist es dann eben nicht mehr eine einzige Dampfturbine, oder sagen wir lieber: ein einziges Laufrad, sondern es sind mehrere Dampfturbinen oder mehrere Laufräder, die aber natürlich gerade so, wie früher bei den Turbinen mit mehreren Geschwindigkeitsstufen, alle auf einer und derselben Welle sitzen können.

Aus unseren früher (S. 70 u. f.) angestellten Versuchsreihen ergibt sich übrigens noch folgendes: Wenn der Druckunterschied zweier aufeinander folgender Räume sehr klein ist, d. h.: wenn z. B.  $p_b$  noch größer ist als  $0,57 p_a$ , dann brauchen wir nicht einmal eine sichererweiternde Düse, sondern es genügt irgendeine beliebig gestaltete Austrittsöffnung, als welche z. B. Kanäle eines feststehenden Rades („Leitrades“) benutzt werden können, welches ganz ähnlich gebaut ist wie eins der mehrfach besprochenen Turbinenlaufräder, nur daß die Schaufelung nicht um den ganzen Umfang herumzugehen braucht, sondern unter Umständen (wie z. B. bei den vorderen Rädern der Abb. 35 auf S. 86) nur an einem oder mehreren Teilen des Leitradumfangs angebracht ist.

Abb. 32 zeigt die Gerippsskizze einer Dampfturbine mit drei Druckstufen. Man beachte wohl den Unterschied zwischen dieser Abbildung

und Abb. 30 S. 80. Während dort (Abb. 30) in dem ganzen Raume, in dem sich die Laufräder bewegen, ein und derselbe Druck herrschte, nämlich der niedrigste Druck, der überhaupt zur Verwendung kommt (Außenluftdruck oder Kondensatorspannung), bewegen sich hier in Abb. 32



die verschiedenen Laufräder in voneinander sorgfältig abgedichteten Räumen von allmählich abnehmender Spannung, so daß erst im

Raume 3 die niedrigste Spannung herrscht, während die Spannung im Raume 2 höher ist als die im Raume 3 und die Spannung im Raume 1 wieder höher als die im Raume 2. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf in jedes der drei Laufräder einströmt, ist, wie wir ge-

$D = \text{Düse}$

$R = \text{Laufrad}$

Abb. 32.

sehen hatten, stets dieselbe; sie wird in jedem Laufrade nahezu vollständig in

Arbeit umgesetzt, ist also beim Austritte aus dem Laufrade nahezu gleich Null, und muß dann erst wieder beim Überströmen des Dampfes in die nächste Kammer durch den Druckunterschied von neuem erzeugt werden. Es ist aber zu beachten, daß trotz der gleich großen Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf durch alle Schaufelräder strömt, die Durchtrittsquerschnitte der Schaufelräder doch, wie das auch in der Skizze angedeutet ist, allmählich zunehmen müssen, da ja das Volumen von 1 kg Dampf beinahe in demselben Maße zunimmt, als die Spannung abnimmt. Trotzdem also in jedem Augenblicke durch jedes der drei Laufräder die gleiche Gewichtsmenge Dampf mit gleicher Geschwindigkeit hindurchströmt, strömt durch jedes der drei Räder ein verschiedenes Dampfvolumen hindurch, und zwar ein Volumen, welches immer größer wird, je kleiner die Spannung des Dampfes wird.

Das Diagramm in Abb. 32 veranschaulicht die Druck- und Geschwindigkeitsverhältnisse, wie sie in einer solchen Dampfturbine mit drei Druckstufen herrschen. Wie man sieht, und wie wir auch bereits wissen, nimmt der Druck des Dampfes beim Hindurchströmen durch die Düse  $D_1$  ab, die Geschwindigkeit dagegen zu, da ja eben in der

Düse Druck in Geschwindigkeit umgesetzt wird. Während des

Hindurchströmens durch das Laufrad  $R_1$  bleibt der Druck ungeändert, während die

Geschwindigkeit wegen Umwandlung der lebendigen Kraft in Arbeit annähernd auf Null herabsinkt.

In der zweiten Düse (oder in dem zweiten Leitrad)  $D_2$  wird wieder ein Teil des Druck-

gefälles in Geschwindigkeit umgesetzt, die Spannung sinkt also während des Hindurch-

strömens durch die zweite Düse weiter, während der Dampf von neuem eine Ge-

schwindigkeit bekommt, die gerade so groß ist wie die vor Eintritt in das erste Laufrad

ist.

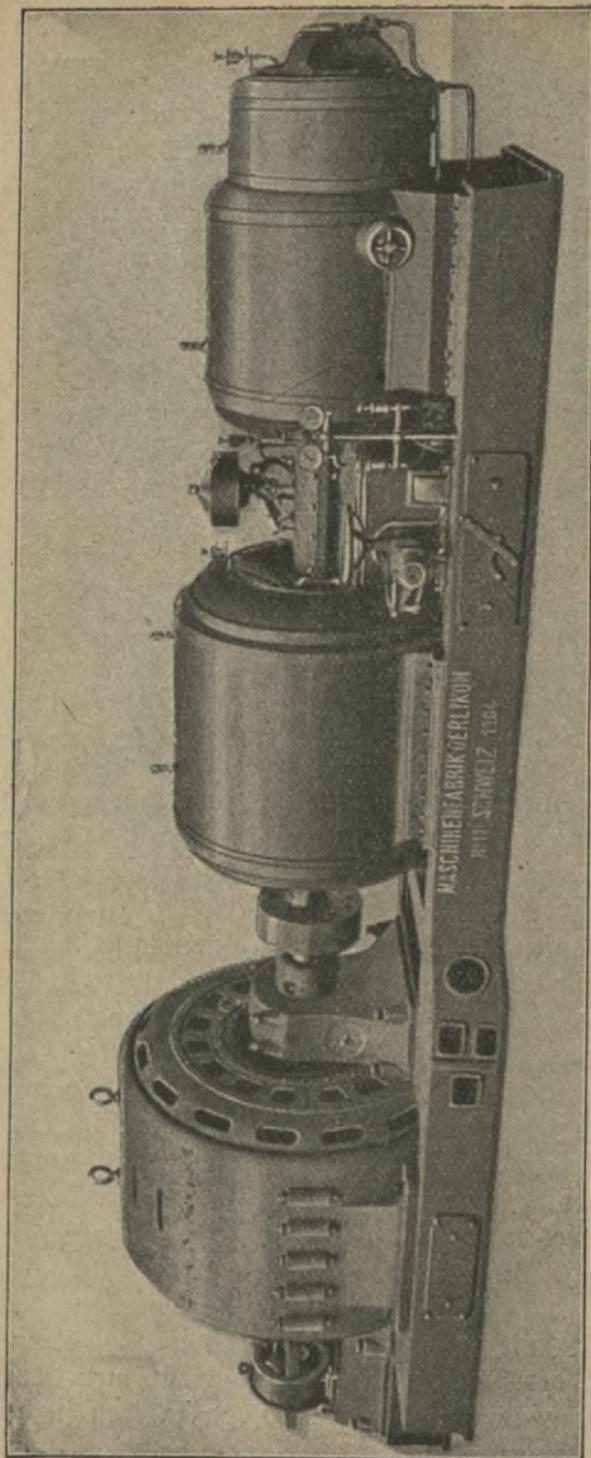
Es möge hier noch einmal besonders darauf hingewiesen werden, daß, im Gegen-

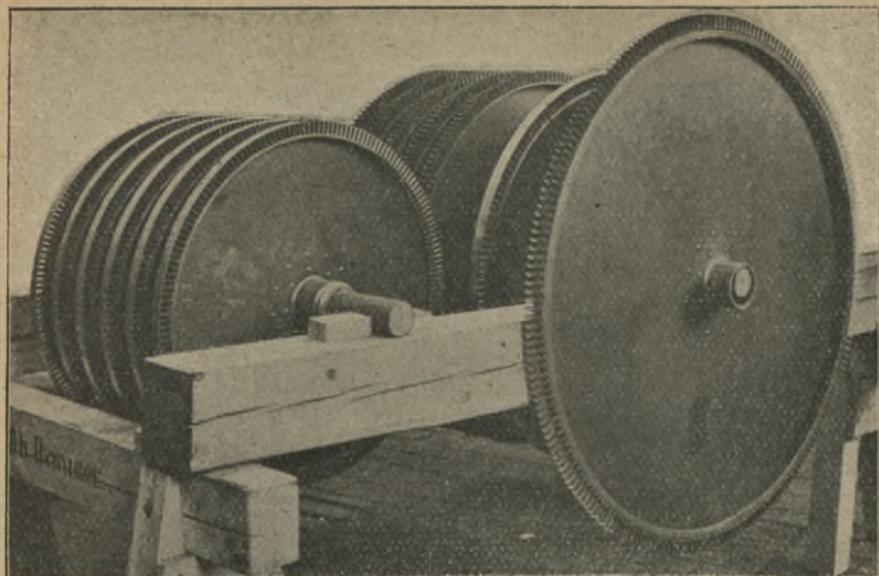
satz zu einer später zu besprechenden Dampfturbinenart, der Druck unmittelbar vor und hinter einem jeden

Dampfturbine

Abb. 33.

Dynamomaschine





Tl. 00. 34.

Laufblade derselbe ist, so daß ein Bestreben, die mit den Laufblättern versehene Welle in Richtung der Dampfbewegung zu verschieben, hier nicht vorliegt. Dampfturbinen dieser Art waren die nach ihren Erfindern benannten ursprünglichen Bülly- und Rateauturbinen. In neuerer Zeit hat ihre Bauart eine kleine Abänderung erfahren, auf die an späterer Stelle hingewiesen werden soll. Man nennt sie (gerade so wie die sämtlichen vorhergenannten Turbinenarten) Druckturbinen aus einem Grunde, der weiter unten angegeben ist.

Abb. 33 S. 84 zeigt eine von der Maschinenfabrik Örlifon in Örlifon (Schweiz) für die Zeche Holland in Westfalen erbaute Dampfturbine, Bauart Rateau, von 1300 PS zum Antrieb einer Dynamomaschine (welche in dem größten Gehäuse links enthalten ist). Da die Anzahl der Druckstufen hier ziemlich beträchtlich ist und, wie wir gesehen hatten, die Durchtrittsquerschnitte des Dampfes allmählich zunehmen müssen, wurde die ganze Turbine gewissermaßen in mehrere Teile zerlegt, deren Durchmesser, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, sprunghaft zunehmen.

Der besseren Lagerung wegen ist hier noch ungefähr in der Mitte der Turbine ein Lager zwischengeschaltet worden, welches man aber bei neueren Turbinen möglichst zu vermeiden sucht. Die Dampfzuleitung befindet sich auf der dem Beschauer abgewendeten Seite der Maschine,

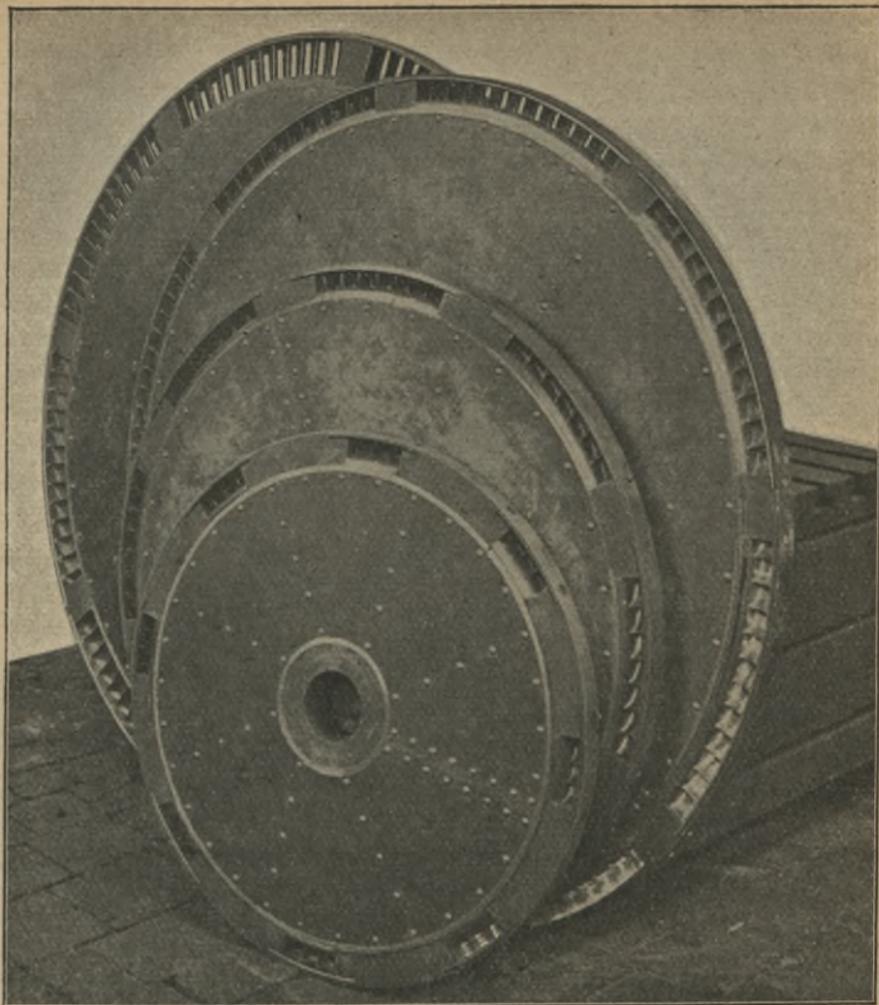


Abb. 35.

die Überströmung in den Kondensator geschieht nach unten. Abb. 34 zeigt einige Laufräder einer solchen Turbine, und zwar links fertige Räder mit einem die Schaufeln umschließenden Bande, rechts halbfertige Räder zum Teil ohne Band. Abb. 35 zeigt einige Leiträder, bei denen sehr deutlich zu sehen ist, wie der Durchtrittsquerschnitt des Dampfes, d. h. der mit Schaufeln besetzte Teil des Umfanges, entsprechend der Ausdehnung des Dampfes, zunimmt.

**Turbinen mit Druckstufen in Verbindung mit Geschwindigkeitsstufen.** Faßt man die beiden zuletzt besprochenen Hilfsmittel, die

Umfangsgeschwindigkeit herabzumindern, zusammen, so bekommt man eine neue wichtige Art von Dampfturbinen, vermittelt deren es nun möglich ist in verhältnismäßig einfacher Weise eigentlich jede gewünschte niedrige Umfangsgeschwindigkeit und damit auch jede gewünschte geringe Umdrehzahl der Dampfturbinenwelle zu erreichen: Es sind dies die Dampfturbinen mit mehreren Druckstufen, wobei in jeder Druckstufe zwei oder mehrere Geschwindigkeitsstufen ausgeführt werden. Abb. 36 zeigt die Hälfte der Gerippfskizze einer solchen Turbine mit zwei Druckstufen und je zwei Geschwindigkeitsstufen.

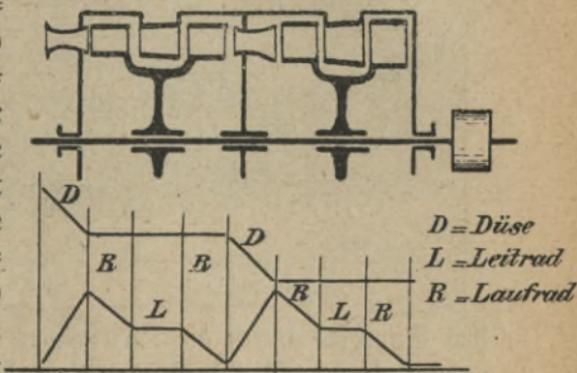
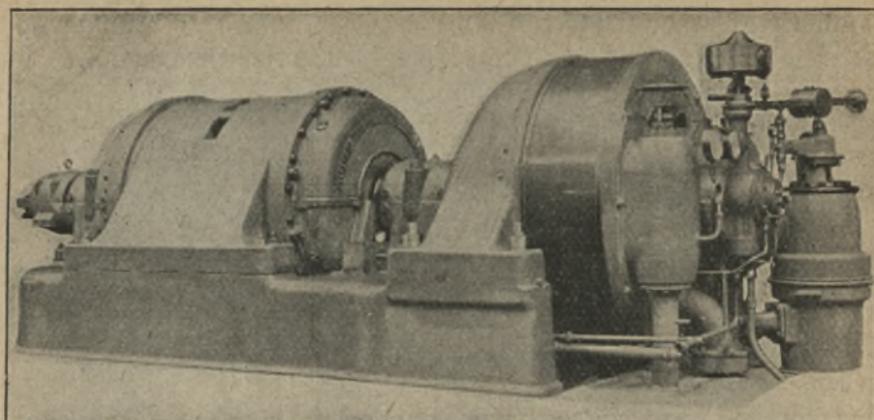


Abb. 36.

Durch die Teilung des Druckgefälles erhalten wir an den Ausströmungsöffnungen der Düsen oder Leiträder eine verringerte Dampfgeschwindigkeit, und dadurch, daß wir diese Geschwindigkeit nicht in einem, sondern in zwei Schaufelrädern mit dazwischen geschaltetem Leitrad ausnutzen, können wir die Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder auch noch kleiner wählen, als die Hälfte der verringerten Dampfgeschwindigkeit beträgt (vgl. S. 77).

Das Diagramm in Abb. 36 läßt die ungefähren Druck- und Geschwindigkeitsverhältnisse erkennen, die beim Hindurchströmen des Dampfes durch die ganze Turbine auftreten. Nach den vorhergegangenen Betrachtungen bedarf die Abbildung wohl kaum noch einer Erklärung. Die obere stufenweise abfallende Linie stellt wieder die Dampfspannung dar; die untere zickzackartige Linie die wechselnden Dampfgeschwindigkeiten. Turbinen dieser Bauart haben namentlich in Amerika nach den Patenten von Curtis (daher Curtisturbinen genannt) eine sehr weite Verbreitung gefunden. In Deutschland war es die A. G. G., welche diese Bauart aufnahm und damit große Erfolge erzielte. Abb. 37 zeigt eine solche Dampfturbine der A. G. G. für eine Leistung von 1000 Kilowatt. Die (auf der Abbildung rechts befindliche) Turbine zeichnet sich durch besonders gedrängte Bauart aus.

**Turbinen mit Überdruckwirkung.** In den bisher besprochenen Turbinen trat eine Druckabnahme (ein Druckgefälle) immer nur innerhalb der feststehenden Leiträder auf, während beim Hindurchströmen



Dynamo

Abb. 37.

Turbine

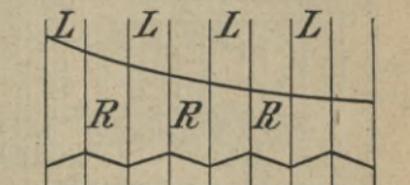
des Dampfes durch die Laufräder die Spannung des Dampfes sich nicht änderte (S. 84 oben). Nun läßt es sich aber durch besondere Gestaltung der Schaufeln so einrichten, daß eine Ausdehnung des Dampfes auch während seines Hindurchströmens durch die Laufräder erfolgt. Die Wirkung ist jetzt eine etwas andere: Der Dampf gibt hier an die Schaufeln der Laufräder nicht bloß einen Teil seiner in den Leiträdern oder Düsen erlangten lebendigen Kraft ab, sondern, da er sich innerhalb der Laufräder ausdehnt, stößt er gewissermaßen die Schaufeln noch hinter sich zurück, er wirkt, wie man sagt, hier nicht bloß durch Druck, sondern auch noch durch Überdruck (Gegendruck, Reaktion), weshalb man derartige Turbinen vielfach, wenn auch eigentlich zu Unrecht, als Überdruck- oder Reaktionsturbinen bezeichnet, im Gegensatz zu den sämtlichen vorher besprochenen Dampfturbinenarten, die man unter dem Namen Druckturbinen oder Gleichdruckturbinen zusammenfaßt.

Die neue Art der Einwirkung auf die Schaufeln der Laufräder hat eine Reihe sehr wichtiger Folgen für den Bau solcher Überdruckturbinen. Zunächst dürfte nicht schwer einzusehen sein, daß infolge der hinzukommenden Überdruckwirkung die Umfangsgeschwindigkeit der Laufräder eine größere wird, und dies hat wieder zur unmittelbaren Folge, daß unter sonst gleichen Verhältnissen zur Erzielung einer mäßigen, praktisch brauchbaren Umfangsgeschwindigkeit die Zahl der Druckstufen bei solchen Überdruckturbinen eine wesentlich größere sein muß als bei den früher besprochenen Dampfturbinen, wobei allerdings zu beachten ist, daß hier jede Schaufelreihe, ganz gleichgültig ob Leitrad

oder Laufrad, als Druckstufe zu betrachten ist. In der That besitzen derartige Turbinen, wie sie zuerst von dem Engländer Parsons ausgeführt wurden, etwa 80 und noch mehr Leit- und ebenso viele Laufradkränze, wozu mitunter viele Hunderttausende von Schaufeln gehören.

Die Schaulinien Abb. 38 geben, entsprechend den früheren Abb. 32 u. 36, eine ungefähre Darstellung des Verlaufes von Druck und Ge-

schwindigkeit in einer solchen Parsonsturbine. Die obere Linie stellt wieder den Druckverlauf dar, die untere Linie den Verlauf der Dampfgeschwindigkeiten. Wie man sieht, fällt hier der Druck stetig von Schaufelkranz zu Schaufelkranz. Die in den Leiträdern *L* erzeugte Geschwindigkeit wird zwar in den Laufrädern *R* zur



*L*=Leitrad *R*=Laufrad

Abb. 38.

Arbeitsleistung ausgenutzt, also herabgemindert, gleichzeitig aber auch wieder durch das im Laufrade auftretende Druckgefälle etwas erhöht, so daß sie mit kleinen Schwankungen im allgemeinen während der Durchflußzeit ganz langsam ansteigt.

Es war oben (S. 84) ausdrücklich darauf hingewiesen worden, daß bei allen bisher besprochenen Turbinen der Druck des Dampfes zu beiden Seiten der Laufräder der gleiche war. Das ist ja nun hier aber nicht mehr der Fall. Wegen des hier auch in den Laufrädern auftretenden Druckgefälles ist der Druck vor jedem Laufrade (in der Strömungsrichtung gemessen) größer als hinter dem Laufrade, und die Folge dieser in allen Laufrädern auftretenden und sich natürlich zusammenzählenden Drücke ist die, daß der Dampf das Bestreben hat, die gesamte Turbinenwelle mit allen darauffolgenden Laufrädern in der Strömungsrichtung des Dampfes zu verschieben. Um diesen Verschiebungsdruck nicht allzu groß werden zu lassen, ist es bei Überdruckturbinen nicht mehr möglich, die Laufradschaufeln als Kränze von großen Scheibenträgern auszubilden in der Form, wie Abb. 32 S. 83 sie darstellt, sondern es müssen die Schaufelkränze auf eine Art Trommel aufgesetzt werden, wie aus Abb. 39 ersichtlich ist. Ganz vermeiden läßt sich allerdings der Verschiebungsdruck auch hierdurch nicht, da ja auch die Schaufeloberflächen immer noch eine verhältnismäßig große Druckfläche darbieten. In welcher Weise aber diesem Uebelstande z. B. in den ursprünglichen Parsonsturbinen abgeholfen wird, zeigt die Gerippstizze einer solchen Turbine in Abb. 39. Wie man erkennt, befinden sich am lin-

ken Ende der Trommel drei sog. Ausgleichskolben, deren Durchmesser den einzelnen Durchmessern der Laufradkränze entsprechen. Der Dampf drückt nun die einzelnen Kolben mit derselben Kraft nach links, mit dieser die entsprechenden Laufradkränze nach rechts drückt, so daß also eine

*Ausgleichskolben Leiträder*

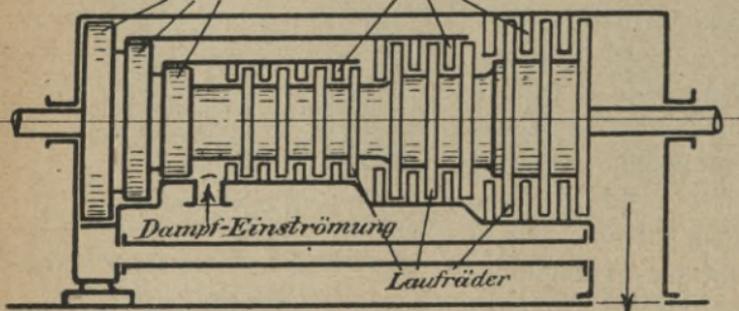


Abb. 39.

Verchiebung der Trommel in Richtung der Dampfströmung nicht mehr eintreten kann. Eigentlich müßte dabei der Durchmesser der Trommel sowohl wie die Länge der

Schaufeln von

Stufe zu Stufe gleichmäßig zunehmen, da ja während der fortwährenden Ausdehnung des Dampfes auch sein Volumen fortwährend und gleichmäßig zunimmt. Da dies aber bei der großen Zahl von Schaufelkränzen die Herstellung erheblich verteuern würde, läßt man auch hier, wie bei größeren Druckturbinen (S. 85), die Durchmesser und Schaufellängen nur von Zeit zu Zeit sprungweise zunehmen, wie es Abb. 39 andeutet.

Eine weitere wichtige Folgeerscheinung der sog. Überdruckturbinen ergibt sich aus nachstehender Betrachtung: Bei den Druckturbinen war es möglich, zwischen Laufrad, Kranz und Gehäusewandung verhältnismäßig große Spielräume zu lassen, da bei den gleich großen Drücken zu beiden Seiten der Laufräder der Dampf ja nicht das Bestreben hat, etwa durch diese Zwischenräume hindurch zu entweichen. Anders dagegen bei den Überdruckturbinen. Sieht man sich die Gerippsskizze (Abb. 39) an, so ist leicht zu erkennen, daß bei den in der Skizze nur der Deutlichkeit halber so groß gezeichneten Spielräumen zwischen Laufradschaufeln und Gehäusewandung sowie zwischen Leitrad-schaufeln und Trommel ein großer Teil des Dampfes ohne Arbeitsleistung durch die Turbine hindurchgehen würde. Es müßten daher eigentlich sämtliche Schaufeln an die gegenüberliegenden Wandung dicht anschließen, was aber mit Rücksicht auf die Ausführung nicht möglich ist, da sonst bei unvorhergesehenen Ausdehnungen infolge von Temperaturschwankungen oder beim Erzittern der Welle Schaufelbrüche und damit der gefürchtete „Schaufelsalat“ die Folge wäre. Spielräume müssen dem-

nach vorhanden sein und Dampf- und damit Arbeitsverluste, sog. Spaltverluste sind also bei dieser Turbinengattung nicht zu vermeiden. Es verdient jedoch hervorgehoben zu werden, daß in Wirklichkeit diese Verluste sich sowohl wegen der geringen Druckgefälle in den einzelnen Stufen als auch infolge vorzüglicher Ausführung nur auf ein sehr geringes Maß beschränken.

Der soeben besprochene Übelstand der Spaltverluste hat nun eine eigentümliche Folge. Da der Dampf sich in Überdruckturbinen von Schaufelkranz zu Schaufelkranz in sehr kleinen Druckstufen ausdehnen soll, eine plötzliche große Querschnittserweiterung also nicht eintreten darf, ist es auch nicht möglich, den ersten Schaufelkränzen den Dampf nur auf einem Teile des Umfanges zuzuführen, wie dies gelegentlich bei Druckturbinen geschieht (vgl. S. 82). Es muß vielmehr stets der Dampf von vornherein auf sämtliche Schaufeln des Umfanges geleitet werden, die Turbine muß, wie man sagt, von vornherein voll beaufschlagt werden. Wollte man daher Turbinen von kleinen Leistungen ausführen, bei denen also nur kleine Dampfmen gen zur Wirkung kommen, so müßten Schaufelkränze von geringem Durchmesser mit sehr kurzen Schaufeln zur Anwendung kommen. Bei solch kurzen Schaufellängen würden aber die für die Ausführung unbedingt nötigen Spielräume zwischen Schaufeln und Wandungen und damit die unvermeidlichen Dampfverluste verhältnismäßig zu groß werden, so daß also Überdruckturbinen sich nur für größere Dampfmen gen, d. h. größere Arbeitsleistungen, eignen.

Ein wesentlicher Vorteil der Überdruckturbinen besteht in den sehr kleinen Druckgefällen bei den einzelnen Stufen. Wie früher gezeigt wurde (S. 71), ist die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf die Schaufeln durchströmt, um so kleiner, je kleiner das Druckgefälle ist. Bei kleinen Dampfgeschwindigkeiten werden aber die unvermeidlichen Arbeitsverluste, die infolge von Reibung und Wirbelbildung während des Hindurchströmens durch die Schaufelkränze auftreten, sehr klein, und die Folge ist die, daß man durch Anwendung der Überdruckschaufelung besonders gute Wirkungsgrade erzielen kann.

**Zusammengesetzte Turbinenarten.** Die Turbinen nach der ursprünglichen Bauart von Zöllh (S. 85) ebenso wie die nach der ursprünglichen Bauart von Parsons haben beide den Übelstand, daß der Dampf, bevor er in das erste Schaufelrad eintritt, sich nur verhältnismäßig wenig ausgedehnt hat, also mit hoher Spannung und,

was hier viel wichtiger ist, mit sehr hoher Temperatur in die ersten Turbinenräder eintritt. Man kann jedoch diesen Übelstand dadurch vermeiden, daß man den Dampf in der ersten Düse, also bevor er in das erste Laufrad eintritt, ein großes Druckgefälle durchlaufen läßt. Infolge dieses großen Druckgefälles tritt der Dampf mit verhältnismäßig niedriger Spannung (2—3 at) und entsprechend niedriger Temperatur, aber allerdings auch mit so großer Geschwindigkeit in das erste Laufrad ein, daß zur Erzielung einer mäßigen Umfangsgeschwindigkeit das erste Laufrad mehrere, in der Regel zwei Geschwindigkeitsstufen erhalten muß.

Dies ist nun die Bauart, wie sie jetzt fast bei allen Turbinenarten angewendet wird. Das erste Rad ist stets ein sog. Geschwindigkeitsrad, in der Regel mit zwei Geschwindigkeitsstufen, und erst im weiteren Verlaufe unterscheiden sich dann die einzelnen Turbinenarten durch verschiedene Anwendung von Druckstufen mit und ohne Geschwindigkeitsstufen oder durch Anwendung von Überdruckschaufelung.

Die großen Vorteile der Überdruckschaufelung insbesondere bei großen Schauffellängen haben sogar zur Folge gehabt, daß namentlich für sehr große Leistungen, wie sie z. B. für Schiffsturbinen erforderlich sind, Turbinen ausgeführt werden, welche sämtliche vorher genannten Turbinenarten in sich vereinigen: Die ersten Stufen sind Druckstufen mit je zwei oder drei Geschwindigkeitsstufen, dann kommt eine Reihe von Druckstufen ohne Geschwindigkeitsstufen, und endlich die letzten Stufen, in welchen der Dampf nur noch eine geringe Spannung, also ein großes Volumen besitzt, werden dann mit Überdruckschaufelung ausgeführt.

### Drittes Kapitel: Die Dampfturbine als Kraftmaschine.

**Nachteile der Kolbenkraftmaschinen.** Der beispiellose Aufschwung, den die Dampfturbinenindustrie in der kurzen Zeit ihres Bestehens genommen hat, ist ein offensichtlicher Beweis dafür, daß eine derartige Kraftmaschine einem längst empfundenen Bedürfnisse entsprach. In der Tat war man mit den Kolbenmaschinen von mehreren tausend PS schließlich an den Grenzen der Ausführbarkeit angekommen, und ihre Bauart wurde ganz wesentlich beeinflusst durch Rücksichtnahme auf das sogenannte Normalprofil der Eisenbahnen, das heißt auf die Möglichkeit der Beförderung vom Orte der Entstehung nach dem Aufstellungsorte der Maschine.

Die Platzfrage war es ferner, die namentlich in großen Städten

in Anbetracht der hohen Grundstückspreise, aber häufig auch anderweitig bei den Plänen für die Aufstellung und den Bau von großen Kolbenkraftmaschinen bedeutende Schwierigkeiten verursachte. Allerdings hatte man hier seit langer Zeit das Hilfsmittel der stehend angeordneten Maschinen, aber schon die Rücksichtnahme auf eine (für einen gesicherten Betrieb durchaus notwendige) bequeme und zweckmäßige Bedienung der Maschine zwang dazu, von diesem Hilfsmittel einen möglichst bescheidenen Gebrauch zu machen.

Ein weiterer Übelstand bei großen Dampf- und Gasmaschinen sind die gewaltigen Gewichte der hin und her gehenden Teile, wie Kolben, Kolbenstange, Kreuzkopf, Schubstange usw., deren Beschleunigung und Verzögerung bei Beginn und Ende eines jeden Hubes für den ruhigen Gang der Maschine von nachteiligem Einfluß sind und unter Umständen gewaltige Fundamente sowie riesige Schwungräder erfordern. Rechnet man endlich noch dazu die große Zahl der sich drehenden und aufeinander gleitenden Teile, die eine solche Maschine besitzt und die alle eine mehr oder weniger sorgfältige Schmierung und Beaufsichtigung verlangen, so erkennt man, wie weit unsere so viel gepriesenen Gas- und Dampfmaschinen in baulicher Hinsicht von dem Ideale einer Kraftmaschine entfernt sind, und welche Vorteile demgegenüber eine Kraftmaschine bieten muß, bei welcher alle diese vorgenannten Übelstände entweder beseitigt oder auf ein bescheidenes Maß zurückgeführt sind.

### Vorteile der Dampfturbinen.

**Einfache Bauart.** Eine solche Kraftmaschine stellt nun aber unsere Dampfturbine dar. Wie aus den früheren Betrachtungen zur Genüge hervorgeht, besteht die Dampfturbine als solche im wesentlichen nur aus einem einzigen umlaufenden Körper, nämlich der mit den Laufträgern versehenen Welle, die an zwei Stellen gelagert ist. Aus dieser einfachen Bauart folgen nun aber sofort eine Reihe wichtiger Vorteile.

Zunächst kann die Lieferung neuer Maschinen in der Regel wesentlich schneller erfolgen als bei Kolbendampfmaschinen. Als Beispiel sei hier vielleicht angeführt, daß die A. E.-G. es im Jahre 1907 übernahm, für die Berliner Elektrizitätswerke Dampfturbinen von einer Gesamtleistung von 36 000 PS innerhalb acht Monaten zu liefern, trotzdem ihre Dampfturbinenfabrik erst drei Jahre in Betrieb war. Bei Kolbendampfmaschinen wäre dies auch einem guteingerichteten Werke aus Herstellungsrücksichten unmöglich gewesen.

Ferner ist zu beachten, daß durch die Einfachheit der Bauart Zusammenbau und Aufstellung einer neu zu liefernden Dampfturbine sehr vereinfacht wird und in wenigen Tagen ausführbar ist, während dies bei einer gleich starken Dampf- oder Gasmaschine Wochen, ja Monate an Zeit erfordert. — Wie aus den vorangegangenen Erörterungen hervorgeht, fehlt bei den Dampfturbinen die verwickelte Steuerung der Kolbendampfmaschine, und wenn man bedenkt, daß z. B. eine zweistufige Verbunddampfmaschine mit Ventilsteuerung bereits acht Ventile besitzt, eine dreistufige Verbundmaschine schon zwölf, bei geteiltem Niederdruckzylinder sogar sechzehn Ventile, die mit ebenso vielen Stopfbüchsen und allen ihren Antriebshebeln für einen ordnungsmäßigen Gang der Maschine dauernd in gutem Zustande erhalten werden müssen, so erkennt man, welche Vorteile demgegenüber der verhältnißmäßig einfache Aufbau der Dampfturbine besitzt — Da hin und her gehende Teile wie bei den Kolbenkraftmaschinen hier nicht vorhanden sind, fehlt bei der Dampfturbine ein Maschinenteil, der bei den Kolbenkraftmaschinen zur Erzielung eines ruhigen Ganges unbedingt erforderlich ist: das große, schwere Schwungrad; und wenn man bedenkt, welche Schwierigkeiten die Ausführung, der Bau und die Platzfrage bei einem solchen großen Schwungrade bieten, so erkennt man, daß dieser Umstand allein schon einen wesentlichen Vorteil der Dampfturbine gegenüber der Kolbenkraftmaschine darstellt.

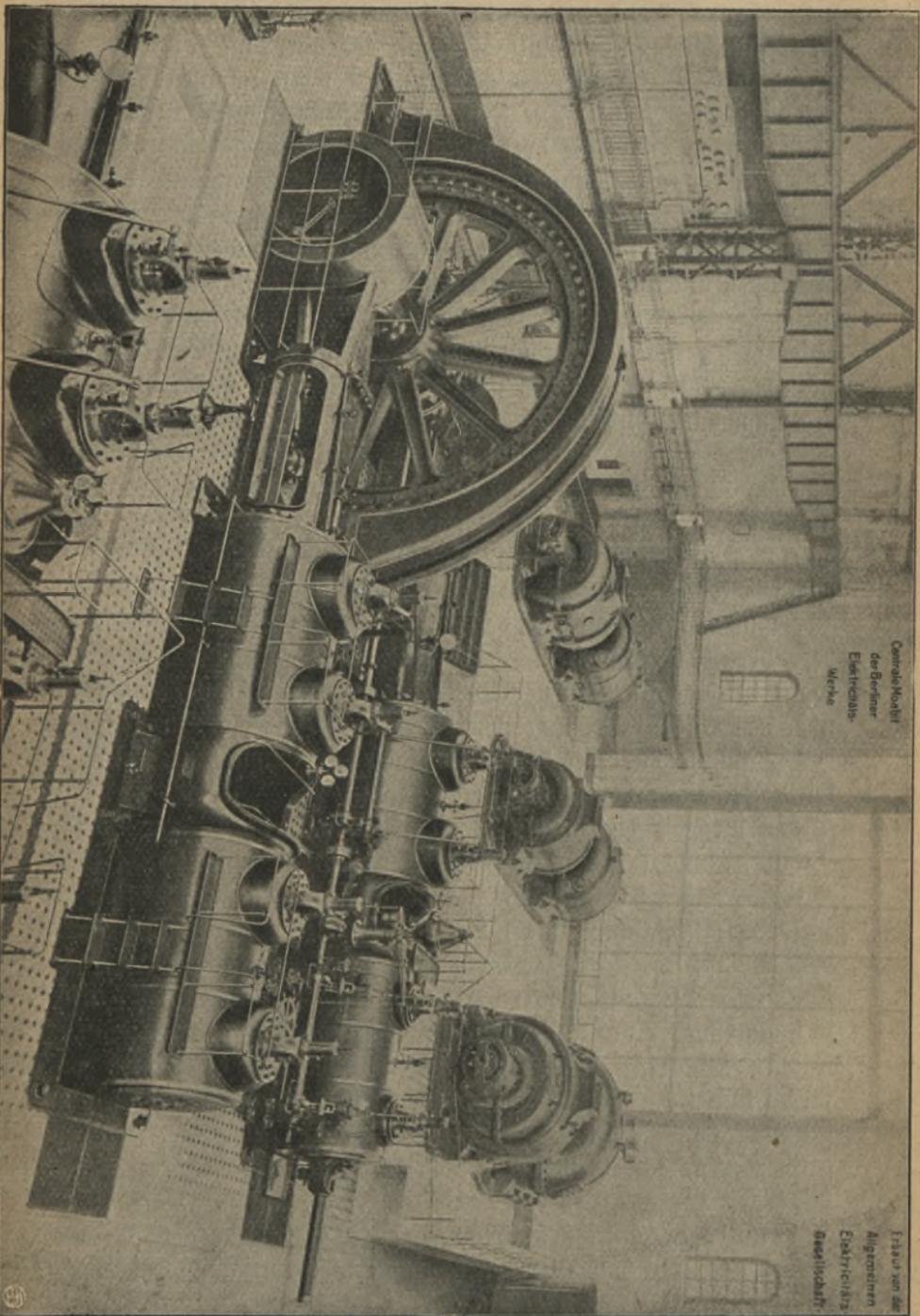
**Ruhiger Gang.** Der ruhige, vollständig gleichförmige Gang des lediglich im Kreise umlaufenden Kraftaufnehmers hat weiterhin zur Folge, daß die zum Aufbau einer Dampfmaschine benötigten Fundamente auf ein geringes Maß beschränkt sind, ja bei Turbinen kleinerer Leistung sogar vollständig fortfallen und durch ein paar Eisenträger oder eine Holzunterlage ersetzt werden können. Im allgemeinen dürfte der Rauminhalt eines Fundaments für Dampfturbinen kaum mehr als etwa 15—40% von dem einer gleich starken Kolbenmaschine gleicher Leistung betragen.

**Geringer Raumbedarf.** Auch die Rauminanspruchnahme der Turbine selber ist um ein Vielfaches geringer als bei den Kolbenkraftmaschinen und wird oft genug für die Anschaffung einer Dampfturbine von entscheidender Bedeutung sein.

Ein lehrreiches und fesselndes Beispiel hierfür bietet die nebenstehende Abb. 40, welche das jetzt allerdings umgebaute Ende der großen Maschinenhalle im Kraftwerke Moabit der Berliner Elektrizitätswerke dar-

Central-Kontroll-  
der Berliner  
Elektrischen  
Werke

Fabrik von der  
Allgemeinen  
Elektrischen  
Gesellschaft



stellt. Das Bild zeigt im Vordergrunde eine große dreistufige Kolbendampfmaschine mit vier Zylindern von Gebrüder Sulzer und im Hintergrunde drei Turbodynamos, gebaut von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin. Die Leistung der Kolbenmaschine beträgt etwa 3000 PS, während die drei ungefähr denselben Raum einnehmenden Turbodynamos zusammen über 20000 PS entwickeln.

**Vorteilhafter Betrieb.** Waren vorher als großer Übelstand der Kolbenkraftmaschinen die vielen hin und her gehenden, sich ineinander drehenden und aufeinander schleifenden Teile erwähnt worden, die einer fortwährenden Aufsicht und guten Schmierung bedürfen, so zeichnet sich anderseits gerade die Dampfturbine durch große Anspruchslosigkeit bezüglich der Bedienung und geringen Ölverbrauch aus. Die zwei oder drei Lager, in welchen die Laufradwelle sich dreht, sind so ziemlich alles, was der Maschinist zu beobachten hat, während der eigentliche Verbrauch an Öl auf ein äußerst geringes Maß beschränkt ist, da eben fast nichts anderes geschmiert zu werden braucht als jene Lager, die noch dazu in der Regel mit einer Ölumlaufrichtung versehen werden, welche darin besteht, daß das den Lagern in reichlicher Menge zugeführte und aus ihnen wieder abfließende Öl zunächst gekühlt und dann durch eine besondere kleine Pumpe von neuem in die Lager hineingepreßt wird. Ganz besonders tritt dieser Vorteil des geringen Ölverbrauchs gegenüber den Gasmaschinen hervor, bei welchen die Kosten für Schmierung der Maschine das Sechsz- bis Achtfache der Schmierungskosten gleichleistungsfähiger Dampfturbinen betragen.

Bei dieser Gelegenheit sei auch gleich noch ein weiterer Vorteil der Dampfturbine erwähnt, welcher darin besteht, daß das Öl mit dem Dampfe selber gar nicht in Berührung kommt, im Gegensatz zu der Kolbendampfmaschine, wo wegen der Schmierung der Zylinderwände der Dampf durch Öl stark verunreinigt wird und nachher erst einer umständlichen Reinigung unterworfen werden muß, ehe er nach seiner Verdichtung wieder als Kesselspeisewasser Verwendung finden kann. Eine solche Reinigung ist bei der Dampfturbine überflüssig. Der aus der Maschine kommende und in dem Kondensator verdichtete Dampf kann unmittelbar wieder in die Kessel zurückgeführt werden, womit neben größerer Einfachheit auch eine nicht unbedeutende Wärmeersparnis verbunden ist.

**Leichtes Zugangssetzen.** Endlich sei noch als letzter Vorteil der Dampfturbine gegenüber den Kolbenkraftmaschinen hervorgehoben das leichte

Zugangsetzen der Maschine. Da es bei dem umlaufenden Kraftaufnehmer weder eine Totlage noch sonst irgendwelche ungünstige Kolbenstellung gibt wie bei den Kolbenkraftmaschinen, kann die Dampfturbine sofort von jeder Stellung aus angelassen werden, während die Kolbenkraftmaschine nach jedem Stillstande in der Regel erst durch mühsames Drehen von Hand, mitunter sogar mit Hilfe einer eigenen kleinen Kraftmaschine in eine günstige Kolbenstellung, die sog. Unlauffstellung, gedreht werden muß, ganz abgesehen von den sonstigen Schwierigkeiten, welche z. B. das Anlassen von Gasmaschinen mitunter bereitet. Auch das lästige Anwärmen der Maschine, welches z. B. bei den Kolbendampfmaschinen wegen der vielen genau ineinander passenden Teile mit großer Sorgfalt geschehen muß und bei großen Maschinen mehrere Stunden in Anspruch nimmt, kann bei der verhältnismäßig einfachen Bauart der Dampfturbine auf eine Zeitdauer von wenigen Minuten beschränkt werden.

#### Viertes Kapitel: Wirtschaftlichkeit der Dampfturbine.

**Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Kolbendampfmaschine.** Die vielen äußerlichen Vorteile, die in dem vorhergehenden Kapitel genannt wurden, könnten offenbar dazu beitragen, die alte Kolbendampfmaschine für gewisse Zweige des Maschinenbetriebes gänzlich zu verdrängen, wenn sich die Dampfturbine auch wirtschaftlich der Kolbendampfmaschine entweder überlegen zeigt oder ihr doch wenigstens in wirtschaftlicher Beziehung nicht wesentlich nachsteht. Da das nun tatsächlich der Fall ist, d. h., da heute schon die Dampfturbine bei größeren Leistungen die Wirtschaftlichkeit der besten Kolbendampfmaschinen erreicht, zum Teil sogar schon überholt hat, so ist es erklärlich, daß für einzelne Betriebsarten heute nur noch der Dampfturbinenbetrieb in Frage kommt. In erster Linie wäre hier der Antrieb von Dynamomaschinen zu nennen, weil neben sonstigen Vorteilen gerade die hohe Umdrehzahl der Dampfturbine, die für so viele andere Zweige des Maschinenbetriebes als Übelstand empfunden wird, einen sehr vorteilhaften und billigen Bau der Stromerzeuger ermöglicht. Bei der gewaltigen Ausdehnung, die heutzutage die Verwendung des elektrischen Stromes zu allen nur denkbaren Zwecken gefunden hat, ist es auch gerade die lebhafteste Nachfrage nach dieser Verbindung von Dynamomaschine und Dampfturbine, d. h. die Nachfrage nach den sog. Turbodynamos, gewesen, die einen so beispiellosen Aufschwung der Dampfturbinenindustrie in den letzten Jahren verur-

sacht und heute schon zur Aufstellung von Einheiten mit einer Leistung von 50000 KW geführt hat.

Die fast ausschließliche Verwendung der Dampfturbinen zum Bau von Turbodynamos hat zur Folge gehabt, daß wohl in allen neueren Veröffentlichungen über den Dampfverbrauch von Turbinen die Angaben für das verbrauchte Dampfgewicht bezogen sind auf die sog. Kilowattstunde (KW-st), eine Einheit, welche bekanntlich mit einer PS in dem Zusammenhange steht, daß  $0,736 \text{ KW} = 1 \text{ PS}$ , und demnach auch  $0,736 \text{ KW-st} = 1 \text{ PS-st}$  sind. Diese Art der Angaben hat sich deshalb so schnell eingebürgert, weil dadurch die Messungen wesentlich erleichtert werden. Diejenige Anzahl Kilogramm Dampf, welche die Turbine in einer gewissen Zeit, z. B. einer Stunde, verbraucht hat, läßt sich ja sehr einfach dadurch feststellen, daß man den aus dem Oberflächenkondensator kommenden verdichteten Dampf in einem Meßgefäße auffängt, während die von der Dynamomaschine gelieferte nutzbare elektrische Energie am sog. Schaltbrett mit Leichtigkeit abgelesen werden kann. Auf die Verhältnisse des gewöhnlichen Dampfmaschinenbetriebes übertragen, würden die Angaben über den Dampfverbrauch für die KW-st den Angaben über den Dampfverbrauch für die PS<sub>n</sub>-st (Nutzpferdestärkenstunde) entsprechen, jedoch einschließlich des Energieverlustes, der noch in der Dynamomaschine auftritt.

Ein Beispiel wird die Sache erläutern. Wir wollen annehmen, es liege eine Kolbendampfmaschine vor, auf deren Schwungradachse eine Dynamomaschine sitzt, und es sei durch Indikatorversuche festgestellt worden, daß die Dampfmaschine gerade 1000 PS<sub>i</sub> leistet. Es sei ferner bekannt, daß in der Dampfmaschine selbst durch Reibung 15% der Leistung verloren gehen (man sagt dann, der mechanische Wirkungsgrad der Maschine betrage 85%), und es sei endlich bekannt, daß der in der Dynamomaschine entstehende Energieverlust 4% nicht überschreite (oder mit anderen Worten: der Wirkungsgrad der Dynamomaschine sei 96%). Die Anzahl der tatsächlich gelieferten Kilowatt beträgt dann:

$$0,736 \cdot 0,85 \cdot 0,96 \cdot 1000 = \sim 0,6 \cdot 1000 = 600 \text{ KW.}$$

Es liege nun anderseits eine Turbodynamo vor von einer Leistung von 600 KW, welche in einer Stunde 4200 kg Dampf, also für die KW-st  $\frac{4200}{600} = 7 \text{ kg}$  Dampf verbraucht. Wollte man nun wissen, wieviel der Dampfverbrauch betragen würde, bezogen auf die PS<sub>i</sub>-st einer dieselbe Nutzleistung ergebenden Kolbendampfmaschine, so findet



zu, sowohl wenn die Nennleistung der Maschine (die Stelle ist gekennzeichnet durch die senkrechte gestrichelte Linie) unterschritten wird, d. h. wenn die Maschine schwach beansprucht ist, als auch wenn die Nennleistung überschritten, die Maschine also überlastet wird. Bei der Dampfturbine (ausgezogene Kurve) nimmt aus dem oben angegebenen Grunde bei verringerter Leistung der Dampfverbrauch für die KW-st zwar ebenfalls zu (aber meist etwas langsamer als bei der Kolbendampfmaschine), dagegen nimmt der Verbrauch bei Überlastung der Turbine über die Nennleistung im allgemeinen auch noch weiter bis zu der höchsten, überhaupt erreichbaren Leistung hin ab, ein Ergebnis, das natürlich als ein Vorzug der Dampfturbine gegenüber der Kolbendampfmaschine anzusehen ist.

**Bedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb.** Da die Dampfturbine gerade so wie die Kolbendampfmaschine eben eine Dampfmaschine ist, so werden auch bei der Dampfturbine alle diejenigen theoretischen Erörterungen Gültigkeit haben, welche bei der Kolbendampfmaschine hinsichtlich der Ausnutzung der in dem Dampfe steckenden Wärme in Frage kommen, d. h.: auch hier bei der Dampfturbine wird im allgemeinen ein mehr oder minder wirtschaftliches Arbeiten auf denselben Bedingungen beruhen wie bei der Kolbendampfmaschine, abgesehen natürlich von denjenigen Bedingungen, welche mit der Bauart und Wirkungsweise der Kolbendampfmaschine als Kolbenkraftmaschine zusammenhängen.

Die Güte der Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine, der sog thermische Wirkungsgrad, läßt sich bekanntlich unter der Voraussetzung eines möglichst günstigen Arbeitens ausdrücken durch die einfache Formel:

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

wobei  $T_1$  die absolute Temperatur der zugeführten Wärme, in diesem Falle die absolute Temperatur des zugeführten Dampfes,  $T_2$  dagegen die absolute Temperatur der abgeführten Wärme, d. h. entweder die Temperatur des Auspuffdampfes oder die Kondensatortemperatur darstellt. Man versteht man ja unter thermischem Wirkungsgrade das Verhältnis

$$\frac{\text{in Arbeit umgewandelte Wärmemenge}}{\text{insgesamt zugeführte Wärmemenge}}$$

und da nach der obigen Formel dieser Faktor sich um so mehr der „1“ nähert, je höher  $T_1$  und je niedriger  $T_2$  ist, so wird auch die Dampf-

turbine gerade so wie die Kolbendampfmaschine um so günstiger, d. h. um so wirtschaftlicher arbeiten, erstens je höher die Spannung und Überhitzung des Dampfes gewählt wird und zweitens je vollkommener die Kondensation ist.<sup>1)</sup>

**Überhitzung.** Die Anwendung einer für wirtschaftlichen Betrieb sehr vorteilhaften hohen Überhitzung stößt bei den Kolbendampfmaschinen auf Schwierigkeiten, einmal wegen der Rücksicht, die infolge der hohen Temperatur auf die Ausdehnung der einzelnen aufeinander gleitenden Teile genommen werden muß, dann aber auch deswegen, weil bei Dampftemperaturen von über 300—350° eine Schmierung der aufeinander gleitenden Teile wie Kolben und Zylinder, Kolbenstange und Stopfbüchse usw. schwierig wird, da es nur wenige Schmiermittel gibt, welche diesen hohen Temperaturen standhalten. Wie wir nun früher gesehen hatten, war es ja gerade ein wesentlicher Vorzug der Dampfturbine gegenüber der Kolbendampfmaschine, daß sie mit Ausnahme der beiden Wellenlager gar keine aufeinander gleitenden Teile besitzt, und es ist nun die unmittelbare Folge dieser günstigen Eigenschaft, daß man bei der Dampfturbine mit der Überhitzung des Dampfes so hoch hinaufgehen kann, als das die Bauart der Überhitzer und der Baustoff der Turbine überhaupt gestatten. So hat z. B. Professor Lewicki in Dresden bei Versuchen an einer Lavalschen Dampfturbine überhitzten Dampf von 7 at Spannung bis zu einer Temperatur von 500° C angewendet und gefunden, daß der Dampfverbrauch für die KW-st mit zunehmender Überhitzung stetig geringer wurde. In der Praxis nimmt man gewöhnlich an, daß bei den üblicherweise verwendeten Dampftemperaturen bei Zunahme der Überhitzung um 7° der Dampfverbrauch der Turbine für die KW-st um etwa 1% abnimmt. In welcher Weise bauliche Schwierigkeiten bei hoher Überhitzung durch geeigneten Bau der Turbinen beseitigt werden können, wurde schon oben S. 92 erläutert.

Zu den wärmetheoretischen Vorteilen, welche die Anwendung hochüberhitzten Dampfes bietet, kommen nun noch ein paar rein mechanische Vorteile. So hat sich z. B., zum Teil durch die obengenannten Versuche von Lewicki, herausgestellt, daß die Reibung der mit den Laufschrauben besetzten Räder in dem Dampfe um so geringer, der mechanische Wirkungsgrad der Turbine also um so besser wird, je höher

1) Genaueres darüber s. in des Verf. „Dampfmaschine I“ (AMuG Bd. 393) und „Technische Wärmelehre“ (AMuG Bd. 516).

die Temperatur und je geringer der Druck des Dampfes ist, in welchem die Laufräder arbeiten.

Ein weiterer rein mechanischer Vorteil der Anwendung überhitzten Dampfes besteht dann ferner darin, daß überhitzter Wasserdampf keine im Dampf schwebenden Wasserteilchen mehr enthält, die bei gesättigtem Wasserdampfe infolge des Aufwallens des Wassers im Kessel sich nur schwer vermeiden lassen. Da Wasser bekanntlich so gut wie unzusammen-drückbar ist, wirken derartige Wasserteilchen, wenn sie mit großer Geschwindigkeit die Schaufeln der Laufräder treffen, ganz ähnlich wie feste Körper, so daß eine starke Abnutzung der Schaufeln die Folge sein wird. Durch Überhitzung des Dampfes verschwinden jene im Dampf schwebenden Wasserteilchen, und es ist bereits durch Erfahrung bewiesen, daß bei Anwendung überhitzten Dampfes selbst bei jahrelangem, angestremgtem Betriebe eine nennenswerte Abnutzung der Schaufeln nicht eintritt.

**Gute Kondensation.** Die zweite Bedingung für ein möglichst wirtschaftliches Arbeiten der Dampfturbinen besteht in der Anwendung möglichst guter Kondensation. Der Nutzen, ja die Notwendigkeit einer solchen ergibt sich bereits aus der auf S. 74 angeführten kleinen Tabelle, wie folgende einfache Rechnung zeigt: Wir hatten uns damals (S. 70) zwei geschlossene Räume  $a$  und  $b$  gedacht, welche durch eine Düse in Verbindung standen, die sich von dem Raume  $a$  nach dem Raume  $b$  hin erweitert. Wir wollen nun annehmen, es befinde sich in dem Raume  $a$  gesättigter Wasserdampf von der Spannung 10 at abs, während der Raum  $b$  zunächst mit der Außenluft in Verbindung stehe, und es sei die Düse so berechnet, daß in jeder Sekunde gerade 0,5 kg Dampf hindurchströme. In diesem Falle ist also  $p_a = 10 p_b$ , und es wäre die in einer Dampfturbine auszunutzende lebendige Kraft nach der

auf S. 74 gegebenen kleinen Tabelle  $0,5 \cdot 39500 = 19750 \text{ mkg/sek} = 264 \text{ PS}$ . Verbinden wir nun den Raum  $b$  mit einem guten Kondensator, in welchem

eine Spannung von nur 0,1 at abs herrscht, und setzen gleichzeitig eine anders berechnete Düse ein, durch welche aber wiederum in jeder Sekunde gerade 0,5 kg Dampf hindurchströmen, dann wäre  $p_a = 100 p_b$ , und es könnte nach der Tabelle mit derselben Dampfmenge, also unter

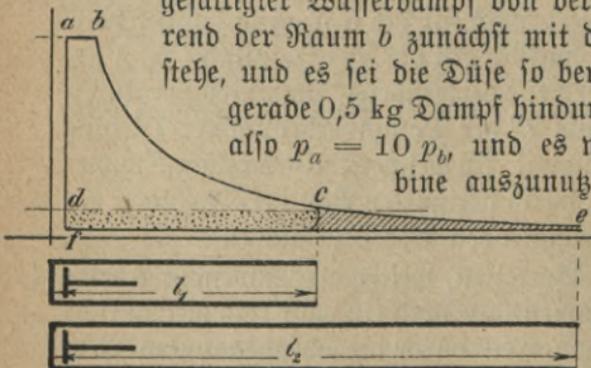


Abb. 42.

Aufwendung derselben Wärmemenge, eine Leistung von  $0,5 \cdot 67\,100 = 33\,550$  mkg/sek oder rund 450 PS, d. h. eine um 70% größere Leistung erzielt werden.

Bei der Kolbendampfmaschine ist nun allerdings etwas Ähnliches der Fall, d. h.: man kann zwar auch dort bei guter Kondensation einen nicht unbedeutenden Teil von Arbeit ohne Aufwendung neuer Wärmemengen dazugewinnen, es läßt sich jedoch zeigen, daß die Anwendung guter Kondensation gerade beim Dampfturbinenbetriebe noch wesentlich größere Vorteile mit sich bringt und bringen muß als bei Kolbendampfmaschinen.

Es sei zunächst Abb. 42 *abcd* das theoretische Diagramm einer mit Dampfdehnung und Auspuff arbeitenden Kolbenmaschine, wobei  $l_1$  die Größe des dazugehörigen Dampfzylinders darstellt. Läßt man nun bei dieser Maschine den Dampf am Ende des Hubes nicht in die freie Luft, sondern in einen Kondensator strömen, in welchem z. B. die Spannung 0,15 at abs herrscht, so gewinnt man zwar den punktiert angelegten Teil des Diagrammes als neue Arbeit hinzu, dagegen ist es wegen der beschränkten Zylinderlänge nicht möglich, auch noch die durch die gestrichelte Fläche dargestellte Arbeit hinzuzugewinnen, oder mit anderen Worten: man kann die Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes nicht im vollen Umfange ausnutzen. Wollte man versuchen, in einer sonst unter gleichen Verhältnissen arbeitenden Kolbendampfmaschine die gesamte Arbeitsfähigkeit des Dampfes auszunutzen, die also dargestellt wird durch die zwischen der Ausdehnungslinie *bce* und der der Spannung von 0,15 at abs entsprechenden Linie *fe*, so brauchte man dazu, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, einen Zylinder, dessen Volumen sich zu dem Volumen des Zylinders der vorher betrachteten Maschine verhält wie  $l_2 : l_1$ . Die Abmessungen dieser Maschine sowie die Gewichte der hin und her zu bewegenden Massen würden aber so groß, die dadurch entstehenden Reibungs- und Abkühlungsverluste so bedeutend werden, daß der durch die gestrichelte Fläche dargestellte Arbeitsgewinn dadurch wieder verloren ginge.

Bei der Dampfturbine liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Da hin und her bewegte Massen hier fortfallen, spielen die Reibungsverhältnisse nur eine untergeordnete Rolle, und auch die Abkühlungsverluste sind wesentlich geringer als bei der Kolbendampfmaschine, wie folgende Überlegung beweist. Nehmen wir an, das vorher erwähnte Dampfdiagramm spiele sich in einem einzigen Zylinder einer Kolben-

dampfmaschine ab, so erkennt man, daß die inneren Zylinderwandungen immer abwechselnd mit Dampf von hoher Spannung, also hoher Temperatur, und dann wiederum mit Dampf von sehr geringer Spannung, also niedriger Temperatur, in Berührung kommen. Die Folge davon ist die, daß der neue einströmende Dampf durch Berührung mit den kurz vorher abgekühlten Zylinderwandungen einen Teil seiner Wärme und damit auch einen Teil seiner Arbeitsfähigkeit verliert, und dieser Verlust wird natürlich hier um so größer ausfallen, je weiter die Ausdehnung des Dampfes getrieben wird. Bei der Dampfturbine dagegen strömt ja der Dampf ununterbrochen durch die ganze Turbine hindurch, und es wird sich daher nach dem Ingangsetzen der Turbine sehr bald eine Art von Beharrungszustand einstellen, derart, daß die einzelnen Teile der Turbine stets nur mit Dampf von annähernd ein und derselben Temperatur in Berührung kommen. Die Folge davon ist aber offenbar wieder die, daß wir hier bei der Dampfturbine die Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes bis zu der überhaupt erreichbaren Grenze ausnutzen können, und es wird die durch Kondensation dazuzugewinnende Arbeit tatsächlich um so größer, die Wärmeausnutzung also um so besser sein, je tiefer die Spannung ist, die sich vermittle des Kondensators erreichen läßt. Gute neuzeitliche Dampfturbinen arbeiten mit Kondensatorspannungen bis zu 95 und mehr vom Hundert Unterdruck, und man kann annehmen, daß bei einer Verbesserung des Unterdruckes um etwa 1% sich der Dampfverbrauch der Turbine um mindestens 2% vermindert.

#### Fünftes Kapitel: Dampfturbinen für besondere Fälle.

Zwei Eigenschaften der Dampfturbine sind es, welche in neuester Zeit zu eigentümlichen Betriebsbedingungen für diese Maschinengattung geführt haben: einmal die Einfachheit ihres Aufbaues und ihres Betriebes und ferner der am Schlusse des vorigen Kapitels erwähnte Umstand, daß es möglich ist, selbst Dämpfe von sehr niedriger Spannung in durchaus wirtschaftlicher Weise zur Arbeitsleistung in Dampfturbinen zu verwenden.

**Gegendruckturbinen.** Zur Heizung umfangreicher Gebäudeanlagen sowie für Koch- und Heizzwecke, beispielsweise in chemischen Fabriken, werden oftmals große Mengen von Wasserdampf gebraucht, und zwar in der Regel von niedriger Spannung (0,5—1,0 at Überdruck). Die Erzeugung dieses Dampfes wird häufig so bewerkstelligt, daß Dampf

von wesentlich höherer Spannung in gewöhnlichen Betriebsdampfkesseln erzeugt und nachher durch Abdrosseln, also ohne äußere Arbeitsleistung, auf die verlangte niedrige Spannung gebracht wird. In neuester Zeit ist man nun dazu übergegangen, eine Verminderung der Spannung des erzeugten Dampfes in der Weise herbeizuführen, daß man den Dampf von höherer Spannung zunächst in Dampfturbinen treten und hier unter Arbeitsverrichtung sich auf die gewünschte niedrige Spannung ausdehnen läßt. Eine Kondensationsanlage ist dann mit einer solchen Dampfturbine natürlich nicht verbunden, und die Dampfturbine verbraucht daher, wie im vorigen Kapitel bereits erwähnt wurde, für die KW-st verhältnismäßig viel Dampf. Andererseits wird aber gerade durch dieses Fortfallen der Kondensationsanlage der Betrieb der Dampfturbine außerordentlich einfach, und die in der Turbine geleistete Arbeit wird ja außerdem sozusagen nur nebenher erzeugt, weil eben der Dampf seinem eigentlichen Verwendungszwecke (zum Heizen und Kochen) erst nach seinem Austritte aus der Dampfturbine zugeführt wird.<sup>1)</sup> Da sich der Dampf in solchen Turbinen nicht bis auf die tiefste erreichbare Spannung ausdehnt, sondern mit verhältnismäßig hohem Gegendruck (2—3 und mehr at) aus der Maschine entweicht, bezeichnet man derartige Turbinen mit dem Namen Gegendruckturbinen.

Zuweilen wird ja allerdings Dampf zu Koch- und Heizzwecken in besonderen sog. Niederdruckdampfkesseln (beispielsweise von 1 at Überdruck) erzeugt. Aber selbst in einem solchen Falle stellt es sich als wirtschaftlicher heraus, Dampf von hoher Spannung zu erzeugen, ihn, wie eben besprochen, zunächst in einer Gegendruckturbine Arbeit verrichten zu lassen (etwa zur Erzeugung elektrischer Energie) und dann erst seinem Hauptverwendungszwecke zuzuführen.

Daß in beiden Fällen durch die Ausschaltung besonderer Kessel zu Heizzwecken eine große Ersparnis an Dampf, d. h. an Kohle erzielt werden muß, ergibt sich schon aus der einfachen Überlegung, daß im Falle gesonderter Kessel in beiden Kesselarten der Dampf aus Wasser in flüssiger Form erzeugt werden muß. Nun ist aber bekanntlich gerade diejenige Wärmemenge, welche nötig ist, um Wasser aus der flüssigen Form in die Dampfform überzuführen, der weitaus größte Teil der zur Dampferzeugung überhaupt verbrauchten Wärmemenge. Sie beträgt z. B. rund 500 WE, um Wasser von 100° in Dampf von

1) S. d. Verf. „Praktische Thermodynamik“ (MKG Bd. 596, Abschn. VII).

100° überzuführen. Wenn es also gelingt, diese gewaltige Wärmemenge bei dem größten Teile des benötigten Dampfes zu sparen, so läßt sich wohl auch ohne eingehende Berechnung leicht erkennen, daß eine solche oben beschriebene Verbindung von Kräfteerzeugung und Heizung große wirtschaftliche Vorteile bieten muß.

**Anzapfturbinen.** Es bedarf allerdings wohl kaum der Erwähnung, daß derartige vereinigte Betriebe sich nur dann als wirtschaftlich erweisen werden, wenn die zu Koch- und Heizzwecken benötigten Dampfmen gen bedeutend sind, da sonst die Ersparnisse an Dampf durch die Kosten der Dampfturbinenanlage zum größten Teil wieder aufgezehrt werden. Um aber auch in solchen Fällen Ersparnisse zu erzielen, ist man dazu übergegangen, den zu Koch- und Heizzwecken benötigten Dampf einer mehrstufigen Dampfturbine an einer solchen Stelle gewissermaßen abzuzapfen, wo er die gewünschte niedrige Spannung besitzt. Der nicht gebrauchte Rest des Dampfes geht Arbeit leistend auch durch die letzten Stufen der Dampfturbine hindurch, gelangt dann bei möglichst niedriger Spannung in den Kondensator und wird so in möglichst wirtschaftlicher Weise ausgenutzt. Dampfturbinen dieser Art nennt man daher auch geradezu Anzapfturbinen.

**Abdampfturbinen.** Im Maschinenbetrieb kommen häufig Fälle vor, bei denen Dampfmaschinen nicht längere Zeit ununterbrochen, sondern sozusagen stoßweise zu arbeiten haben. Solche Fälle sind z. B. auf Bergwerken die sog. Fördermaschinen, welche Kohlen und Erze aus den Schächten herausholen, die Maschinen zum Antriebe der Walzenstraßen auf Hüttenwerken und andere mehr. Wegen des stoßweisen Arbeitens, d. h. wegen des Arbeitens mit vielen mehr oder weniger großen Pausen, ist bei derartigen Maschinen die Anwendung von Kondensation nur schwer oder gar nicht durchzuführen, weshalb diese Maschinen meistens mit Auspuffbetrieb arbeiten. Man läßt also den Dampf sich in der Maschine nur auf etwas mehr als 1 at abs ausdehnen und nutzt daher seine Ausdehnungsfähigkeit nur sehr unvollständig aus.

Die auf S. 104 besprochene Möglichkeit, die Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes gerade in Dampfturbinen bis auf weite Grenzen hin vorzüglich ausnutzen zu können, hat nun zu einer eigentümlichen in neuester Zeit sehr beliebt gewordenen Verwendungsart dieser Maschinen geführt, nämlich zur Verwendung als Niederdruck- oder Abdampf-turbine. Trifft man nämlich die Anordnung so, daß jene nur zeitweise austretenden, meist recht bedeutenden Dampfmen gen nicht in die

freie Luft, sondern in einen großen Behälter auspuffen, so kann man diesen Behälter gewissermaßen als Dampfkessel für eine mit sehr niedriger Spannung arbeitende Dampfturbine benutzen, bei der dann allerdings vermittels vorzüglicher Kondensationseinrichtungen die Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes soweit als möglich ausgenutzt werden muß.<sup>1)</sup> Die Spannung des Dampfes in jenem Behälter wird ja nun allerdings schwanken, sie wird ansteigen, wenn die Hauptmaschine im Gange ist, und wird sinken, wenn die Hauptmaschine stillsteht. Es hat sich aber erstens gezeigt, daß geringe Schwankungen der Eintrittsspannung keinen wesentlichen Einfluß auf die Regelmäßigkeit des Ganges der Turbine ausüben, und es läßt sich ferner durch Ausbildung der genannten Behälter als sog. Wärmespeicher erreichen, daß jene Schwankungen in der Tat nicht allzu bedeutend werden.

Der Grundgedanke eines solchen Wärmespeichers ist ein sehr einfacher. Der Wärmespeicher besteht im wesentlichen aus einem Kessel, der zum Teil mit Wasser gefüllt ist, in welches der Auspuffdampf der betreffenden Maschine hineingeblasen wird. Ein Teil des Dampfes verdichtet sich, wobei die Temperatur des im Kessel befindlichen Wassers erhöht wird und gleichzeitig die Spannung im Innern des Kessels steigt. Verbraucht nun die Dampfturbine mehr Wärme (Dampf), als in den Wärmespeicher hineinkommt, also z. B. während die Hauptmaschine stillsteht, so sinkt die Spannung im Innern des Kessels, ein Teil des Wassers verdampft wieder, und es läßt sich auf diese Weise, wie man sieht, eine Art Ausgleich zwischen Dampfverbrauch und Dampflieferung erzielen. Zur Sicherheit sind dann noch Vorkehrungen getroffen, daß bei zu stark ansteigendem Drucke ein Sicherheitsventil geöffnet wird, das den überschüssigen Dampf ins Freie entweichen läßt, während bei zu stark fallendem Drucke frischer Dampf aus dem Hauptdampfkessel in den Wärmespeicher überströmt. Der Bedarf an Abdampf ist in letzter Zeit immer geringer geworden und beträgt in neueren Abdampfturbinenanlagen etwa 12—15 kg für die KW-st.

**Zweidruckturbinen.** Liegt die Gefahr vor, daß zeitweise nicht genügend Abdampf zum Betriebe der Abdampfturbine zur Verfügung steht, so baut man die Turbine wohl so, daß sie aus zwei gesonderten Abteilungen besteht, einem Hochdruckteil und einem Niederdruckteil. Ist

1) S. d. Verf. „Technische Wärmelehre“ (AMuG Bd. 516) und „Praktische Thermodynamik“ (AMuG Bd. 596, Abschn. VII).

dann genügend Abdampf vorhanden, so arbeitet die Turbine nur mit ihrem Niederdruckteile, bleibt dagegen der Abdampf aus, so wird von der Maschine selbsttätig das Frischdampfventil einer Kesselanlage geöffnet, und es strömt nun hochgespannter und überhitzter Dampf, wie bei den gewöhnlichen Turbinen, zunächst in den Hochdruckteil und nachher mit derselben Spannung, die sonst der Abdampf hat, in den Niederdruckteil. Gegebenenfalls kann derartig arbeitender Frischdampf auch als Unterstützung bei zu geringen Mengen von Abdampf hinzugezogen werden. Turbinen dieser Art, die heute vielfach gebaut werden, bezeichnet man mit dem Namen Zweidruckturbinen.

**Schiffsturbinen.** Zwei Haupteigenschaften sind es, durch welche sich Schiffsturbinen von anderen Dampfturbinen unterscheiden: niedrige Umdrehzahl und die Notwendigkeit, die Maschine sowohl in der einen wie in der anderen Richtung umlaufen lassen zu können. Die Umdrehzahl der Schiffsschrauben kann nicht beliebig erhöht werden, weil sonst ihr Wirkungsgrad zu gering wird. Man suchte sich daher in der Weise zu helfen, daß man die Umdrehzahl der Schiffsschrauben so hoch wählte, als es mit Rücksicht auf einen erträglichen Wirkungsgrad eben noch zulässig erschien und die Umdrehzahl der Turbine dementsprechend herabminderte. Ein Mittel hierzu bildet die Erhöhung der Druckstufenzahl. Je größer die Zahl der Druckstufen, desto kleiner die Dampfgeschwindigkeiten, desto kleiner die zulässige Umfangsgeschwindigkeit der Schaufelkränze, desto kleiner die minutlichen Umdrehzahlen. Freilich lassen sich niedrige Umdrehzahlen auch durch verhältnismäßig wenige Druckstufen erzielen, aber nur dann, wenn innerhalb dieser Druckstufen eine größere Zahl — etwa drei oder gar vier — von Geschwindigkeitsstufen angewendet werden. Die Erfahrung hat aber gelehrt, daß die weit gehende Erniedrigung der Umdrehzahlen unter Anwendung vieler unmittelbar aufeinander folgender Geschwindigkeitsstufen mit großen Energieverlusten verknüpft ist, so daß also von diesem Mittel bei den früher besprochenen Turbinen und erst recht bei den Schiffsturbinen aus wirtschaftlichen Gründen nur in beschränktem Maße Gebrauch gemacht wird. (Siehe übrigens auch S. 92 unter: Zusammengesetzte Turbinenarten.)

Und trotzdem findet sich gerade bei Schiffsturbinen eine weitgehende Anwendung solcher Geschwindigkeitsstufen, allerdings, wie eben erwähnt, nicht bei den Hauptturbinen. Die zweite oben genannte Bedingung für Schiffsturbinen war nämlich die, daß es möglich sein muß, die

Turbine nach beiden Richtungen umlaufen zu lassen. Das ist nun so ohne weiteres, wie man leicht einsieht, bei Dampfturbinen nicht möglich. Soll daher eine Welle bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung umlaufen, so bleibt nichts anderes übrig, als auf diese Welle zwei Turbinen aufzusetzen, von denen die eine nur nach der einen, die andere nur nach der anderen Richtung umlaufen kann. In der Tat ist dies auch das Mittel, welches bei Schiffsturbinen angewendet wird. Abb. 43

stellt das Schema einer solchen Schiffsturbine dar: links ist die Hauptturbine, rechts ist die auf derselben Welle sitzende sog. Rückwärtsturbine. Soll die Maschine

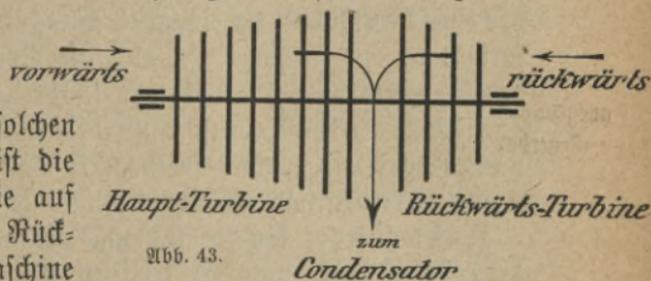


Abb. 43.

vorwärts laufen, so wird der Dampf auf der linken Seite eingelassen; dann läuft also die Rückwärtsturbine leer mit. Bei Rückwärtsgang wird der Dampf rechts eingelassen, und die Hauptturbine läuft leer mit. Da nun das Rückwärtsfahren ja nur selten und immer nur für kurze Zeit vorkommt, spielt hier die Unwirtschaftlichkeit des Betriebes keine Rolle, und man kann daher für die Rückwärtsturbine das oben erwähnte Mittel der großen Zahl von Geschwindigkeitsstufen anwenden, so daß man dabei, wie dies die Abbildung andeutet, mit nur sehr wenigen Druckstufen, also sehr wenig Rädern auskommt.

Das geschilderte Mittel, Schiffsschrauben, die eine geringe Umdrehzahl verlangen, durch Dampfturbinen anzutreiben, ist nur ein Notbehelf. Man läßt eben die Turbine langsamer laufen, als dies mit Rücksicht auf eine gute Dampfausnutzung zweckmäßig ist, weil die Schiffsschrauben bei Erhöhung der Umdrehzahl an Wirkungsgrad mehr einbüßen würden, als die Turbine gewinnt. Der Gesamtwirkungsgrad von Dampfturbine und Schraube müßte also ein wesentlich höherer werden, wenn es gelänge, sie in der Weise miteinander zu verkuppeln, daß jedes der beiden Elemente mit seiner günstigsten Umdrehzahl laufen könnte. Voraussetzung dabei ist freilich, daß jene Kupplung nicht etwa selber erhebliche Energiemengen verschlingt, den Gesamtwirkungsgrad also wieder merklich herabsetzt. Solche Kupplungen sind aber erstens der Föttingertransformator und zweitens entsprechend gestaltete Zahnräder.

Der **Föttingertransformator**, so genannt nach seinem Erfinder, Professor Föttinger in Danzig, ist eine Vereinigung von Zentrifu-

galpumpe und Wasserturbine, seine Einrichtung ist im wesentlichen etwa die folgende: Auf der Welle der mit hoher Umdrehzahl laufenden Dampfturbine sitzt eine Zentrifugalpumpe, welche Preßwasser erzeugt, das nun zum Antriebe einer langsam laufenden Wasserturbine dient, die ihrerseits zusammen mit der Schiffsschraube auf einer besonderen Welle sitzt. Durch geschickte Bauart ist es erreicht, daß trotz der etwas verwickelt erscheinenden Anlage der Wirkungsgrad des Transformators ein so hoher ist, daß die Vorteile der hohen Umdrehzahl der Dampfturbine bei niedriger Umdrehzahl der Schiffsschraube voll ausgenutzt werden können. Außerdem kann der Föttingertransformator umsteuerbar eingerichtet werden, so daß bei seiner Anwendung die wenig wirtschaftlich arbeitende Rückwärtsturbine in Fortfall kommt.

**Zahnräder.** So fesselnd und genial nun auch der Gedanke sein mag, so ist doch nicht zu leugnen, daß die Anlage eines Föttingertransformators, der sich übrigens in vielfachen Ausführungen bestens bewährt hat, etwas verwickelt und kostspielig ist und daß demgegenüber das alte einfache maschinentechnische Hilfsmittel zur Umwandlung von Geschwindigkeiten, nämlich Zahnräder, wesentliche Vorteile bieten muß, wenn es gelingt, sie unbedingt betriebssicher und mit genügend hohem Wirkungsgrade zu bauen. Das ist nun aber bei der heute weit fortgeschrittenen Werkstatttechnik zweifellos der Fall, und es finden daher Dampfturbinen mit Zahnräderübersetzung eine zunehmende Verbreitung, nicht nur bei Schiffen, bei denen je nach Art und Zweck des Schiffes Übersetzungen von 1 : 5 bis 1 : 20 vorkommen, sondern auch zu anderen Zwecken, wie z. B. zum Antriebe von Gleichstromdynamos, bei denen des Kollektors wegen eine zu hohe Umdrehzahl gern vermieden wird. Die Wirkungsgrade solcher neuzeitlichen, sorgfältig hergestellten Zahnräderübersetzungen sind außerordentlich hoch und betragen schon bei kleinen Leistungen 98%, während bei größeren Leistungen (es wurden bereits Zahnräderübersetzungen mit Einzelleistungen bis zu 6000 PS ausgeführt) sogar 99% erreicht wurden.

## Anhang: Die Gasturbine.

Die Gasmaschine ist der Dampfturbine überlegen in der Ausnutzung der zugeführten Wärme, die Dampfturbine hingegen bietet durch ihre Bauart so erhebliche Vorteile, daß sie trotz des bedeutend geringeren thermischen Wirkungsgrades in manchen Fällen der Gasmaschine wirtschaftlich überlegen ist, unter Umständen selbst dann, wenn für beide dieselbe Wärmequelle zur Verfügung steht.

Der Gedanke liegt nahe: Gelingt es, eine Kraftmaschine zu bauen, welche neben dem thermischen Wirkungsgrade der Gasmaschinen die vorteilhafte Bauart der Dampfturbinen besäße, so müßte eine solche mit Gas betriebene Turbine unter den gegenwärtigen Verhältnissen dem Ideal einer Kraftmaschine sehr nahekommen.

Die Verwirklichung des Gedankens einer Gasturbine stößt leider auf sehr große Schwierigkeiten, die vollständig zu überwinden trotz vielfacher Versuche bis jetzt leider noch immer nicht gelungen ist. Der Grundgedanke ist ja einfach genug. Ein Gasgemisch wird in einer Verbrennungskammer zur Entzündung gebracht und die durch die Verpuffung entstandene hohe Spannung der Gase wird gerade so wie bei der Dampfturbine mit Hilfe von Düsen in Geschwindigkeit umgesetzt, welche ihrerseits wieder in Schaufelrädern zum Erzeugen von Arbeit benutzt werden kann.

Die Schwierigkeiten, die sich der Ausführung dieses Gedankens entgegenstellen, sind teils rein technischer, teils wirtschaftlicher Art. In technischer Beziehung besteht eine Hauptschwierigkeit in der durch die Verpuffung der Gase entstehenden hohen Temperatur von  $1000^{\circ}$  und darüber. Während aber bei Kolbenmaschinen dieser Übelstand durch ausgiebige Wasserkühlung von Zylinder und Kolben usw. verhältnismäßig einfach überwunden werden kann, ist eine künstliche Kühlung bei Düsen und Schaufeln sehr schwierig, eine Kühlung durch Wasser wohl überhaupt unausführbar. Eine Schwierigkeit in wirtschaftlicher Hinsicht besteht insofern, als eine Gasturbine, bei gleicher technischer Einfachheit und Betriebssicherheit, einer Dampfturbine hinsichtlich der gesamten Betriebskosten unbedingt überlegen sein muß, wenn sie daran denken will, ihre gefährliche Nebenbuhlerin aus dem Felde zu schlagen. Das ist nun nicht so einfach, und gerade an dieser wirtschaftlichen Frage, oder anders ausgedrückt, an dem geringen Wirkungsgrade der gesamten Anlage frankten die bisher ausgeführten Gasturbinen, soweit sie über-

haupt je betriebsfähig wurden. Dabei ist zu beachten, daß zu einer Gasturbine außer der Gaserzeugungsanlage und der eigentlichen Turbine noch zwei sehr wichtige Nebenbestandteile gehören: eine Gas- und eine Luftverdichtungsmaschine, denn Luft sowohl wie Gas können ja nicht von der Turbine angesaugt werden, sondern müssen mit Hilfe der genannten Maschinen in die oben erwähnte Verbrennungskammer hineingebracht und dort je nach der Arbeitsweise mehr oder minder verdichtet werden. Die Kraft, welche diese Verdichtungsmaschinen erfordern, muß natürlich von der Turbine mitgeliefert werden und vermindert also die nach außen abgebbare Leistung und damit den Gesamtwirkungsgrad.

Ausführungen von Gasturbinen sind nur in geringer Zahl bekannt geworden. Diejenige, welche vielleicht allein Hoffnungen auf spätere Brauchbarkeit erweckt, zugleich wohl auch die einzige Gasturbine, welche, baulich gut durchgebildet, sich als betriebsfähige Maschine erwiesen hat, ist die Turbine von Holzwarth. Umfangreiche Versuche, welche der Erfinder H. Holzwarth an dieser Gasturbine angestellt und veröffentlicht hat, lassen zum mindesten erkennen, daß hier ein Weg zur Erreichung des Zieles vorliegt, hat doch der Erfinder in einzelnen Fällen wirtschaftliche Wirkungsgrade von 20 und mehr vom Hundert an seiner Gasturbine nachweisen können.

Wer Einzelheiten über diese Gasturbine und die damit erzielten Erfolge zu erfahren wünscht, sei auf das fesselnd geschriebene mit guten Abbildungen versehene Buch des Erfinders, Die Gasturbine, München 1911, R. Oldenbourg, hingewiesen.

Noch ist das Ziel nicht erreicht, große Schwierigkeiten sind noch zu überwinden. Aber wenn man bedenkt, welche gewaltigen, fast unüberwindlich scheinenden Schwierigkeiten z. B. bei der Dieselmachine zu überwinden waren, der von manchen Seiten geradezu jede Lebensfähigkeit abgesprochen wurde, so darf man hoffen, daß es nach Beendigung des Krieges auch hier gelingen wird, diese Schwierigkeiten zu überwinden und die Gasturbine, jenes Ideal einer Wärmekraftmaschine, in absehbarer Zeit zu einer praktisch brauchbaren Maschine auszugestalten.



## Sachregister.

- Abdampfbedarf von Turbinen 107.  
 Abdampfturbinen 106.  
 Absolute Geschwindigkeit 59.  
 A. C. = G. - Turbinen 88, 96.  
 Ausblasen eines Gaserzeugers 16.  
 Anlassen von Dampfturbinen 96.  
   Großgasmaschinen 44.  
 Anthrazit 19.  
 Anzapfturbinen 106.  
 Ausfließgeschwindigkeit bei Dampfturbinen 71, 74.  
 Auspuffschlitze 32.  
 Ausspülen 33.  
 Bituminöse Kohlen 19, 25.  
 Braunkohle 20.  
 Brennstoffe für Dieselmotoren 45.  
   — für Gaserzeuger 18.  
   —, Kosten 21.  
   —, minderwertige 22.  
   —, Pumpe 48.  
   —, Verbrauch bei Braunkohlengaserzeugern 21.  
 Briquets 20.  
 Curtisturbinen 87.  
 Dampfverbrauch bei Turbinen 99.  
 De Laval s. Laval.  
 Dieselmotoren 45 ff.  
 Diffusionsgeschwindigkeit 10.  
 Doppelfeuer = Gaserzeuger 21.  
 Doppelgaserzeuger 21.  
 Doppeltwirkende Dieselmotoren 48.  
 Doppeltwirkender Viertakt 37, 48.  
 Dowson 11.  
 Drehrost = Gaserzeuger 23.  
 Druckgas 11.  
 Druckgefälle 81, 87.  
 Druckstufen 81, 86.  
 Druckturbinen 81.  
 Düsen 62, 73.  
 Eintakt 32, 35, 40.  
 Fallbeschleunigung 53.  
 Föttingertransformator 109.  
 Fundament einer Turbine 94.  
 Gaserzeuger 8, 11, 23.  
 Gasöl 46.  
 Gasturbine 110.  
 Gegendruckturbine 104.  
 Gegenkolbenmaschine 49.  
 Generatorgas 8.  
 Geschwindigkeitsräder 80, 92.  
 Geschwindigkeitsstufen 80, 86.  
 Gewicht 53.  
 Gichtgase 29.  
 Gichtstaub 43.  
 Gleichdruckturbine 88.  
 Großgasmaschine 26, 41.  
 Grundform einer Turbine 65.  
 Halbwassergas 11.  
 Heizwert von Anthrazit 20.  
   Braunkohle 20.  
   Gichtgas 30.  
   Koksogas 31.  
   Luftgas 8.  
   Mischgas 10.  
 Hochofen 29.  
   —gase 29, 42.  
 Holzwarhturbine 112.  
 Inbetriebsetzung von Gaserzeugern 16, 18.  
   Dampfturbinen 96.  
 Junkers 49.  
 Koks 19.  
   — asche 24.  
   — erzeugung 42.  
   — grus 24.  
   — ofengas 30, 42.  
 Kondensation bei Dampfturbinen 102.  
 Kondensator bei Gasreinigung 13.  
 Körtingmaschine 34.  
 Kraftgas 9.  
 Kühlwasserbedarf bei Großgasmaschinen 44.  
 Laden von Gasmaschinen 36.  
 Ladepumpen 36, 39.  
 Laterne bei Reihenmaschinen 48.  
 Laufräder 78, 85.  
 Laval 75, 78, 101.

- Lebendige Kraft 53.  
 Leistung einer Turbine 65.  
 Leitrad 80, 86.  
 Leitschaufeln 80.  
 Luftgas 8.  
 Luftpumpe bei Dieselmachine 48.  
  
 Masse 53.  
 Minderwertige Brennstoffe 24.  
 Mischgas 8, 11.  
 Mondgas 22.  
 Moore 22.  
 Morgan-Gaserzeuger 23.  
 Motorfrachtschiff 51.  
  
 Niederdruckturbine 106.  
 Öchelhäusermaschine 31.  
 Ölverbrauch bei Dampfturbinen 96.  
 Gasmaschinen 43.  
  
 Paraffinöl 45.  
 Parallelogramm der Geschwindigkeiten 61.  
 Parsonsturbine 89.  
  
 Rateauturbine 85.  
 — Wärmespeicher 107.  
 Regulieren von Dampfturbinen 76.  
 Gasmaschinen 38.  
 Reihenmaschine 37, 48.  
 Reinigung von Gas 11, 19, 43.  
 Relativgeschwindigkeit 59.  
 Riedler-Stumpf-Turbine 79.  
 Roheisenerzeugung in Deutschland 42.  
 Rückwärtsturbine 109.  
  
 Sauggas 13 ff., 25 f.  
 Schaufelbrüche 90.  
 Schaufelgeschwindigkeit 66.  
 Schaufelgestaltung 62, 68.  
 Schaufelsalat 90.  
 Schiffsdieselmachines 51.  
 Schiffsturbinen 108.  
 Schlitze, Auspuff= 32.  
 Schmierölbedarf s. Ölverbrauch.  
 Schmierung bei Dampfturbinen 101.  
 Schwungrad 56, 94.  
 Scrubber 11, 17.  
 Solaröl 45.  
 Spaltverluste bei Dampfturbinen 91.  
 Spülluft 33, 48.  
 Spülpumpen 36, 39, 48.  
 Staubgehalt von Gichtgas 43.  
 Strömungsgeschwindigkeit bei Dampf 70 ff.  
 Sulzer-Dieselmachines 48.  
 Systeme von Turbinen 78 ff.  
  
 Teer 19, 46.  
 —=abscheider 17.  
 —=öl 56.  
 Thermischer Wirkungsgrad 100.  
 Dorf 21.  
 —=moore 22.  
 Turbine, Grundform 65.  
 Turbinenleistung 65.  
 Turbodynamo 97.  
  
 Überdruckturbine 87.  
 Überhitzung bei Turbinen 101.  
  
 Umdrehzahl einer Turbine 67, 77.  
 Umfangsgeschwindigkeit 56, 67, 77.  
 Umsteuern von Dieselmachines 52.  
  
 Verbrennung 7.  
 Verdampferschale 16.  
 Viertakt 32.  
 Vollbeaufschlagte Turbinen 91.  
 Vorlage bei Gaserzeugern 11.  
  
 Wärmespeicher 107.  
 Wärmeverbrauch von Dampfmaschinen 38.  
 Großgasmaschinen 30, 41.  
 Wascher 11.  
 Wasserdampf, Strömungseigenschaften von 70 ff.  
 Wassergas 8.  
 Wirkungsgrad von Gaserzeugern 25.  
 — Sinken des 44.  
 —, thermischer 100.  
 Wirtschaftlichkeit von Großgasmaschinen 42.  
 Gaserzeugern 25.  
  
 Zahnräder 110.  
 Zoellyturbine 85.  
 Zusammengesetzte Turbinenarten 91.  
 Zweidruckturbinen 107.  
 Zweitakt 32, 49.  
 —=Dieselmachines 47.  
 Zwillingsserienmaschinen 37.

Dem Verfasser des vorliegenden Bändchens sind ferner in derselben Sammlung (Jedes Bändchen geh. M. 1.20, geb. M. 1.50) erschienen:

## **Die neueren Wärmekraftmaschinen**

**Einführung in die Theorie und den Bau der Gasmaschinen.**

5. Aufl. Mit 42 Abbildungen. (Bd. 21.)

Nach kurzer Erläuterung der für das Verständnis des Wesens der Maschinen nötigen Sachausdrücke u. Hauptgesetze werden die verschiedenen Betriebsmittel, wie Leuchtgas, Kraftgas usw., die Viertakt- und Zweitaktwirkung, das Wichtigste über die Bauarten der Gas-, Benzin-, Benzol-, Petroleum- und Spiritusmaschinen, sowie der Wärmemotor Patent Diesel dargestellt.

## **Praktische Thermodynamik**

**Aufgaben und Beispiele zur mechanischen Wärmelehre.**

Mit 40 Abbildungen im Text u. 3 Tafeln. (Bd. 596.)

In Beispielen und Aufgaben, die der Praxis entnommen sind, zeigt das Bändchen die mannigfache Anwendung der Thermodynamik auf allen Gebieten der Technik. Es schließt sich in seinem Aufbau an Auch Bd. 516 (Techn. Wärmelehre) des gleichen Verfassers an, in dem eine grundlegende Darstellung der mechanischen Wärmetheorie und Ableitung ihrer Formeln gegeben ist.

## **Einführung in die technische Wärmelehre**

**(Thermodynamik).** Mit 40 Abbildungen im Text. (Bd. 516.)

Mit großer Klarheit und Anschaulichkeit behandelt der Verfasser in diesem Bändchen unter Beschränkung auf die wichtigsten Regeln und Gesetze, deren praktische Verwendbarkeit grundsätzlich und überall durch Beispiele nachgewiesen wird, die Grundlagen der mechanischen Wärmetheorie.

## **Die Dampfmaschine**

**I. Wirkungsweise des Dampfes im Kessel und in der Maschine.**

4. Aufl. Mit 37 Abbildungen. (Bd. 393.)

Das in 4. Auflage vorliegende Bändchen behandelt, ausgehend von den für das Verständnis wichtigen Sätzen der Mechanik und Wärmelehre, die inneren Vorgänge im Dampfkessel und in der Dampfmaschine und leitet daraus die für ihre Gestaltung maßgebenden Grundsätze ab. Auf Anschaulichkeit der Darstellung ist besonders Wert gelegt, so daß das Bändchen als Einführung in die Dampfmaschinenlehre für Studierende, ebenso aber auch für Besitzer und Betriebsleiter von Dampfmaschinen besonders geeignet sein dürfte.

**II. Ihre Gestaltung und Verwendung.** 2. Aufl. M. 105 Abb. (Bd. 394.)

„Die klare und übersichtliche Darstellung, die vortrefflichen und auch für den Laien verständlichen Figuren, die das Werk auszeichnen, werden auch diesem Bande weite Verbreitung verschaffen. Besonders zu begrüßen ist, daß die praktische Seite der Wirkungsweise der Dampfmaschine ausgebaut worden ist. Der Band kann weiten Kreisen warm empfohlen werden.“ (Deutsche Bergwerks-Zeitung.)

## **Maschinen-Elemente**

2. Aufl. Mit 175 Abbildungen. (Bd. 301.)

„Alle wichtigen Einzelheiten der einfachen und zusammengesetzten Maschinenteile werden behandelt, bildlich durch zahlreiche gute, teils photographische, teils schematische Abbildungen, textlich in der klaren überzeugenden Vortragsweise des Verfassers. Der Leser erhält in dem Bändchen einen vortrefflichen Führer, der ihn zum Beobachten anregt und ihn auf den Zweck der mannigfaltigen Formgebung hinweist.“ (Dinglers Polytechn. Journal.)

## **Hebezeuge**

**Das Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper.**

2. Aufl. Mit 67 Abbildungen im Text. (Bd. 196.)

An der Hand schematischer Zeichnungen wird der Bau und die Wirkungsweise der zum Heben und Fördern von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern in der Praxis am häufigsten angewandten Maschinen und Apparate beschrieben. Auch die Berechnung verschiedener Typen wird durchgeführt.

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge des Verlags und der Buchhandlungen

**Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin**

## **Grundlagen der Theorie u. des Baues der Wärmekraftmaschinen.**

Aus d. Engl. v. Prof. Dr. A. Musil. Zugl. autor., erw. dtsh. Ausg. d. Werkes: „The steam-engine and other heat-engines“ v. Prof. Dr. J. A. Ewing. Mit 302 Figuren. Geb. M. 20.—

„Somit haben wir ein Werk von seltener Vollständigkeit und Abrundung vor uns, welches nicht nur dem angehenden Ingenieur, sondern auch jedem mit einigen physikalischen Kenntnissen ausgerüsteten Gebildeten warm empfohlen werden kann.“ (Archiv f. Mathematik u. Physik.)

**Bau der Dampfturbinen.** Von Hofrat Prof. Dr. A. Musil. Mit zahlreichen Abb. Geb. M. 8.—

**Lehrbuch der Motorenfunde.** Von Prof. Dr. J. W. Mayer. Für gewerbl. u. fachl. Fortbildungsch. bearb. von Prof. Dr. E. Czap. Mit 149 Fig. Geb. M. 2.—

„Dieses Buch ist eine ganz vorzüglich klar und präzise geschriebene Arbeit, die für jede einzelne Motorenart die gerade für sie charakteristischen Merkmale hervorhebt. Die Abbildungen sind zweckentsprechend ausgewählt.“ (Industrieller Anzeiger.)

**Maschinen und Apparate der Starkstromtechnik, ihre Wirkungsweise und Konstruktion.** Von Elektro-Ingenieur G. W. Meyer. Mit 72 Fig. Geb. M. 15.—, geb. M. 16.— I. Teil: Gleichstrom. II. Teil: Wechselstrom.

„Das Buch stellt durch die übersichtliche Anordnung des Stoffes, die Veranschaulichung des Textes durch zahlreiche Skizzen und Abbildungen und durch Beschränkung alles theoretischen Beiwerks ein vorzügliches Nachschlagewerk für den in der Praxis stehenden Ingenieur dar.“ (Naturwissenschaftliche Wochenschrift.)

**Aufgabensammlung aus der technischen Mechanik** für den Schul- und Selbstunterricht. Von Prof. N. Schmitt. In 2 Bänden. Mit zahlr. Fig. im Text. (MAuG Bd. 558/559.) Geb. je M. 1.20, geb. je M. 1.50

I. Bewegungslehre, Statik. 156 Aufgaben u. Lösungen. II. Dynamik. 140 Aufgaben u. Lösungen.

**Vorlesungen über technische Mechanik.** Von Geh. Hofrat Professor Dr. A. Föppl. In 6 Bänden. Gebunden.

I. Bd. Einführung in die Mechanik. 5. Aufl. Mit 104 Figuren. Geb. M. 9.20, geb. M. 10.— II. Bd. Graphische Statik. 3. Aufl. Mit 209 Fig. M. 8.— III. Bd. Festigkeitslehre. 6. Aufl. Mit 114 Fig. M. 16.— IV. Bd. Dynamik. 4. Aufl. Mit 86 Fig. M. 12.— V. Bd. Die wichtigsten Lehren der höheren Elastizitätstheorie. Mit 44 Fig. M. 10.— VI. Bd. Die wichtigsten Lehren der höheren Dynamik. Mit 30 Fig. M. 12.—

**Lehrbuch der Physik.** Von Professor E. Grimsehle. 3., verm. u. verb. Aufl. 2 Bde. Bd. I mit 1036 Fig. u. 2 farb. Taf. geb. M. 11.—, geb. M. 12.— Bd. II mit 1 Bildnis Grimsehles u. 517 Fig. geb. M. 7.—, geb. M. 8.—; kpl. geb. M. 16.—, geb. M. 18.—

„Das sehr flüssig geschriebene Werk behandelt den Stoff in klarer, einfacher Weise, durch häufig eingeschobene Beispiele die gegebenen Betrachtungen festigend, so daß auch beim Selbststudium wohl nirgends Schwierigkeiten auftreten werden.“ (Dinglers Polytechn. Journal.)

**Lehrbuch der praktischen Physik.** Von Professor Dr. Fr. Kohlrausch. 12., verm. Aufl. In Gemeinschaft mit H. Geiger, E. Grüneisen, L. Holborn, W. Jaeger, E. Orlich, K. Scheel, O. Schönrock hrsg. von E. Warburg. Mit 389 Fig. Geb. M. 11.—

Die neue Auflage, in der das Buch zum ersten Male nach dem Tode des Verfassers erscheint, enthält zahlreiche Zusätze und Ergänzungen, welche durch den Fortschritt der Wissenschaft geboten waren. Einzelne Abschnitte, z. B. über den Druck, die Saccharimetrie, Radioaktivität und einige elektrische Kapitel haben deshalb größere Veränderungen erfahren.

**Kleiner Leitfaden der praktischen Physik.** Von Professor Dr. Fr. Kohlrausch. 2., verm. Aufl. (6. bis 10. Taus.) Mit zahlr. Fig. Geb. M. 5.60

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge des Verlags und der Buchhandlungen.

**Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin**

# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher  
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist  
einzeln käuflich

Kartoniert M. 1.60,\*  
gebunden M. 1.90\*

Verlag B. G. Teubner



in Leipzig und Berlin

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände innerhalb der Wissenschaften alphabetisch geordnet  
Werke, die mehrere Bände umfassen, auch in einem Band gebunden erhältlich

## I. Religion, Philosophie und Psychologie.

- Ästhetik. Von Prof. Dr. R. Hamann. 2. Aufl. (Bd. 345.)  
— Einführung in die Geschichte der A. Von Dr. S. Nohl. (Bd. 602.)  
Astrologie siehe Sterns Glaube.  
Aufgaben u. Ziele d. Menschl. Lebens. Von Prof. Dr. F. Unold. 5. Aufl. (Bd. 12.)  
Bergpredigt, Die. Von Prof. Dr. S. Wetzel. (Bd. 710.)  
Bergson, Henri, der Philosoph moderner Reliq. Von Pfarrer Dr. E. Ott. (Bd. 480.)  
Berkeley—siehe Locke, Berkeley, Hume.  
Buddha, Leben u. Lehre d. B. V. Prof. Dr. R. Fischer. 3. Aufl., durchgef. v. Prof. Dr. S. Lüders. M. 1 T. u. 1 T. (109.)  
Calvin, Johann. Von Pfarrer Dr. G. Scheur. Mit 1 Bildnis. 2. Aufl. (Bd. 247.)  
Christentum. Aus der Verzezeit des Chr. Studien u. Charakteristiken. V. Prof. Dr. J. Geiffken. 2. Aufl. (Bd. 54.)  
— Die Religion des Archontentums. Von Prof. Dr. S. Windisch. (Bd. 641.)  
— Christentum und Weltgeschichte seit der Reformation. Von Prof. Dr. R. Sell. 2 Bde. (Bd. 297, 298.)  
— siehe Jesus, Kirche, Mystik im Christent.  
Ethik. Grundzüge d. E. M. bes. Berücksicht. d. päd. Probl. V. E. Wentscher. (397.)  
— i. a. Aufg. u. Ziele, Serualethik, Sittl. Lebensanschauungen, Willensfreiheit.  
Freimaurerei, Die. Eine Einführung in ihre Anschauungswelt u. ihre Geschichte. Von Geh. Rat Dr. E. Keller. 2. Aufl. von Geh. Archivar Dr. G. Schuster. (463.)  
Griechische Religion siehe Religion.  
Handschriftenbeurteilung, Die. Eine Einführung in die Psychol. d. Handschrift. Von Prof. Dr. G. Schneidmühl. 2., durchgef. u. erw. Aufl. Mit 51 Handschriftennachbild. i. T. u. 1 Taf. (Bd. 14.)  
Hedentum siehe Mystik.  
Hellenistische Religion siehe Religion.  
Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor O. Flügel. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis Herbarts. (Bd. 164.)  
Hume siehe Locke, Berkeley, Hume.  
Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömmner. 3. Aufl. (Bd. 199.)  
Jesuitten, Die. Eine histor. Skizze. Von Prof. Dr. S. Boehmer. 4. Aufl. (Bd. 49.)  
Jesus, Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Kirchenrat Pfarrer D. Dr. B. Mehlhorn. 2. Aufl. (Bd. 137.)  
— Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zum quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Prof. Dr. Dr. S. Wetzel. 4. Aufl. (Bd. 46.)  
— i. auch Bergpredigt.  
Judaistische Religion siehe Religion.  
Kant, Immanuel. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. D. Kälve. 4. Aufl. hrsg. v. Prof. Dr. A. Messier. Mit 1 Bildnis Kants. (Bd. 146.)  
Kirche, Geschichte der Christlichen Kirche. Von Prof. Dr. S. Frhr. v. Soden: I. Die Entstehung der Christlichen Kirche. (Bd. 690.) II. Vom Archontentum zum Katholizismus. (Bd. 691.)  
— siehe auch Staat und Kirche.  
Kriminalpsychologie s. Psychologie d. Verbrechens, Handschriftenbeurteilung.  
Kulturreligionen, s. Religion  
Leben. Das L. nach dem Tode i. Glauben der Menschheit. Von Prof. Dr. E. Clemen. (Bd. 506.)  
Lebensanschauungen siehe Sittliche L.  
Leib und Seele. Von Dr. phil. et med. G. Sommer. (Bd. 702.)  
Locke, Berkeley, Hume. Die großen engl. Philos. Von Oberlehrer Dr. B. Thormeyer. (Bd. 481.)  
Logik. Grundriss d. L. Von Dr. R. J. Grau. (Bd. 637.)  
Luther, Martin L. u. d. deutsche Reformation. Von Prof. Dr. B. Köhler. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis Luthers. (Bd. 515.)  
— i. auch Von L. zu Bismarck Abl. IV.  
Mechanik d. Geisteslebens, Die. V. Geh. Medizinalrat Direktor Prof. Dr. M. Berworn. 4. Aufl. 19 Abb. (Bd. 206.)

\* Hierzu Feuerungszuschläge des Verlags und der Buchhandlungen.

- Mission.** Die evangelische Geschichte. Arbeitsweise. Heutiger Stand. V. Pastor E. Baubert. (Bd. 406.)
- Mythik in Heidentum u. Christentum.** V. Prof. Dr. E. v. Lehmann. 2. Aufl. V. Verf. durchgef. überarb. v. Anna Grundtvig geb. Quittenbaum. (Bd. 217.)
- Mythologie, Germanische.** Von Prof. Dr. J. von Megelein. 3. Aufl. (Bd. 95.)
- Naturphilosophie, Die moderne.** V. Priv.-Doz. Dr. J. M. Berwehen. 2. A. (491.)
- Nasäitina und seine Geschichte.** Von Prof. Dr. S. Frh. v. Soden. 4. Aufl. Mit 1 Plan von Jerusalem und 3 Ansichten des Heiligen Landes. (Bd. 6.)
- V. u. f. Kultur in 5 Jahrtausenden. Nach d. neuest. Ausgrabg. u. Forschng. dargestellt von Prof. Dr. P. Thomßen. 2., neubearb. Aufl. M. 37 Abb. (260.)
- Paulus, Der Apostel, u. sein Werk.** Von Prof. Dr. E. Vischer. (Bd. 309.)
- Philosophie, Die. Einführ. i. d. Wissensch., ihr Wes. u. ihre Probleme.** Von Oberrealschuldir. S. Richter. 3. Aufl. (186.)
- Einführung in die Ph. Von Prof. Dr. R. Richter. 4. Aufl. von Priv.-Doz. Dr. M. Brah. (Bd. 155.)
- Führende Denker. Geschichtl. Einleit. in die Philosophie. Von Prof. Dr. J. Cohn. 4. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)
- Die Phil. d. Gegenwart. in Deutschland. V. Prof. Dr. D. Kälpe. 6. Aufl. (41.)
- Poetik.** Von Dr. R. Müller-Freienfels. (Bd. 460.)
- Psychologie, Einführ. i. d. Pl. V. Prof. Dr. E. von Uster. 2. Aufl. M. 4 Abb. (492.)**
- Psychologie d. Kindes. V. Prof. Dr. R. Gauß. 4. Aufl. M. 17 Abb. (213/214.)
- Psychologie d. Verbrechers. (Kriminalpsychol.) V. Strafanstaltsdir. Dr. med. P. Pollitz. 2. Aufl. M. 5 Diagr. (Bd. 248.)
- Einführung in die experiment. Psychologie. Von Prof. Dr. R. Braunschauen. 2. Aufl. M. 17 Abb. i. T. (484.)
- f. auch Handschriftenbeurteilg., Hypnotismus u. Sugg., Mechanik d. Gemüthesleb., Poetik, Seele d. Menschen, Veranlag. u. Bererb., Willensfreiheit; Pädag. Abt. II. Reformation siehe Calvin, Luther.
- Religion, Die Stellung der R. im Geistesleben.** Von Konsistorialrat Lic. Dr. P. Kalweit. 2. Aufl. (Bd. 225.)
- Relig. u. Philosophie im alten Orient. Von Prof. Dr. E. von Uster. (Bd. 521.)
- Einführung in die allg. R.-Geschichte. Von Prof. Dr. R. Beth. (Bd. 658.)
- Die nichtchristlichen Kulturreligionen in ihrem gegenwärtigen Zustand. Von Prof. Dr. E. Clemen. (Bd. 533.)
- Die Religion der Griechen. Von Prof. Dr. E. Samter. 2. Aufl. (Bd. 457.)
- Hellenistisch-röm. Religionsgesch. Von Hospredig. Lic. A. Jacoby. (Bd. 584.)
- Religion, D. Grundzög. d. israel. Religionsgesch.** V. Prof. Dr. Fr. Giesebrecht. 3. A. V. Prof. Dr. A. Bertholet. (52.)
- Religion u. Naturwissensch. in Kampf u. Fried. E. geschichtl. Rückbl. V. Pfarr. Dr. A. Pjannkuche. 2. A. (Bd. 141.)
- Die relig. Strömungen der Gegenwart. V. Sup. Dr. A. S. Braasch. 3. A. (66.)
- f. a. Bergson, Buddha, Calvin, Christentum, Luther.
- Rousseau.** Von Prof. Dr. P. Henkel. 3. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 180.)
- Schopenhauer, Seine Persönlichkeit, f. Lehre, f. Bedeutg. V. Oberrealschuldir. S. Richter. 3. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 81.)**
- Seele des Menschen, Die.** Von Geh. Rat Prof. Dr. J. Rehmk. 4. Aufl. (Bd. 36.)
- siehe Leib u. Seele, auch Psychologie.
- Sexualethik.** Von Prof. Dr. S. E. Timmerding. (Bd. 592.)
- Sinne d. Menschen, D. Sinnesorgane und Sinnesempfind.** V. Hofr. Prof. Dr. J. R. Kreibitz. 3., verb. A. M. 30 Abb. (27.)
- Sittl. Lebensanschauungen d. Gegenwart.** V. Gh. Richter. Prof. Dr. D. Kirn. 3. A. V. Prof. Dr. Dr. O. Stephan. (177.)
- f. a. Ethik, Sexualethik.
- Spencer, Herbert.** Von Dr. R. Schwarze. Mit 1 Bildnis. (Bd. 245.)
- Staat und Kirche in ihrem gegenseitigen Verhältnis seit der Reformation.** Von Pfarr. Dr. A. Pjannkuche. (Bd. 485.)
- Sternglaube und Sterndeutung, Die Geschichte u. d. Wes. d. Astrolog.** Unt. Mitw. v. Geh. Rat Prof. Dr. R. Bezold dargestellt v. Geh. Hofr. Prof. Dr. Fr. Boll. 2. Aufl. M. 1 Sternk. u. 20 Abb. (Bd. 638.)
- Suggestion f. Hypnotismus; Testament, Das Alte, Seine Gesch. u. Bedeutg.** V. Prof. Dr. P. Thomßen. (609.)
- Neues, Der Text d. N. T. nach f. geschichtl. Entwickl. V. Div.-Pfarr. Prof. Viz. A. Pott. 2. Aufl. M. Taf. (Bd. 134.)
- Theologie, Einführung in die Theologie.** Von Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)
- Veranlagung u. Bererb. Geistige.** V. Dr. phil. et med. G. Sommer. (Bd. 512.)
- Urchristentum** siehe Christentum.
- Weltanschauung, Griechische.** Von Prof. Dr. M. Bundt. 3. Aufl. (Bd. 329.)
- Weltanschauungen, D., d. arok. Philosophen der Neuzeit.** Von Prof. Dr. L. Busse. 6. Aufl., hrsg. v. Geh. Hofrat Prof. Dr. R. Faldenberg. (Bd. 56.)
- Weltanschauung, Entsch. d. W. u. d. Erde nach Sage u. Wissensch.** Von Prof. Dr. M. B. Weinstein. 3. Aufl. (Bd. 223.)
- Weltuntergang, Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissensch.** V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)
- Willensfreiheit, Das Problem der.** Von Prof. Dr. G. F. Lipps. 2. Aufl. (Bd. 383.)
- f. a. Ethik, Mechan. d. Gemüthesleb., Psychol.

## II. Pädagogik und Bildungsweisen.

**Berufswahl, Begabung u. Arbeitsleistung** in ihren gegenseitigen Beziehungen. Von **W. J. Nuttmann**. M. 7 Abb. (Bd. 522.)  
**Bildungsweisen, D. deutsche, in i. geschichtlichen** Entwicklung. Von Prof. Dr. Fr. **Paulsen**. 3. Aufl. Von Prof. Dr. R. **Münch**. M. Bildn. Paulsens. (Bd. 100.)  
— f. auch **Vollsbildungsweisen**.  
**Erziehung, G. zur Arbeit**. Von Prof. Dr. **Ebb. Lehmann**. (Bd. 459.)  
— **Deutsche G. in Haus u. Schule**. Von **J. Lews**. 3. Aufl. (Bd. 159.)  
— siehe auch **Großstadtpädagogik**.  
**Fortbildungsschulweisen, Das deutsche**. Von **Dir. Dr. F. Schilling**. (Bd. 256.)  
**Fröbel, Friedrich**. Von Dr. **Joh. Präfer**. Mit 1 Tafel. (Bd. 82.)  
**Großstadtpädagogik, B. J. Lews**. (327.)  
— siehe **Erzieh.**, **Schullämpfe d. Gegenw.**  
**Herbarts Lehren und Leben**. Von Pastor **D. Flügel**. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis **Herbarts**. (Bd. 164.)  
**Hochschulen f. Techn. Hochschulen u. Untw.**  
**Jugendpflege**. Von **Fortbildungsschullehrer W. Wiemann**. (Bd. 434.)  
**Leibesübungen** siehe **Abt. V**.  
**Mittelschule f. Volks- u. Mittelschule**.  
**Pädagogik, Allgemeine**. Von Prof. Dr. **Th. Ziegler**. 4. Aufl. (Bd. 33.)  
— **Experimentelle P. mit bes. Rücksicht auf die Erzieh. durch die Tat**. Von Dr. **W. A. Lah**. 3. u. 4. Aufl. M. 6 Abb. (Bd. 224.)  
— f. **Erzieh.**, **Großstadtpäd.**; **Handschriftenbeurteilung**, **Psychol.**, **Veranlag. u. Vererb.** **Abt. I**.

**Vestalozzi, Leben und Ideen**. Von **Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. P. Ratorp**. 3. Aufl. Mit Bildn. u. 1 Briefkastimile. (Bd. 250.)  
**Rousseau**. Von Prof. Dr. **P. Hensel**. 3. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 180.)  
**Schule** siehe **Fortbildungs-, Hilfsschulwesen**, **Techn. Hoch-, Mädch., Volksschule, Univ. Schulhygiene**. Von Prof. Dr. **L. Burgerstein**. 3. Aufl. M. 33 Fig. (Bd. 96.)  
**Schullämpfe d. Gegenw.** Von **J. Lews**. 2. Aufl. (Bd. 111.)  
— siehe **Erziehung, Großstadtpäd.**  
**Student, Der Leipziger**, von 1409 bis 1909. Von Dr. **W. Bruchmüller**. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)  
**Sudentenium, Geschichte des deutschen St.** Von Dr. **W. Bruchmüller**. (Bd. 477.)  
**Techn. Hochschulen in Nordamerika**. Von **Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. S. Müller**. M. zahlr. Abb., Karte u. Lagepl. (190.)  
**Universitäten, über U. u. Universitätsstud.** Von Prof. Dr. **Th. Ziegler**. Mit 1 Bildn. **Humboldts**. (Bd. 411.)  
**Unterrichtswesen, Das deutsche, der Gegenwart**. Von **Geh. Studienrat Oberrealschuldir. Dr. R. Knabe**. (Bd. 299.)  
**Vollsbildungsweisen, Das mod.** Von **Stadtbibl. Prof. Dr. G. Friz**. M. 14 Abb. (266.)  
**Volks- und Mittelschule, Die preussische, Entwicklung und Ziele**. Von **Geh. Reg.-Rat Schulrat Dr. A. Sachje**. (Bd. 432.)  
**Zeichnkunst, Der Weg zur 3. Einwähl. f. theor. u. prkt. Selbstb.** Von **Dr. E. Weber**. 2. Aufl. M. 81 Abb. u. 1 Farb. (430.)

## III. Sprache, Literatur, Bildende Kunst und Musik.

**Architektur** siehe **Baukunst** und **Renaissancearchitektur**.  
**Ästhetik**. Von Prof. Dr. **R. Samann**. 2. Aufl. (Bd. 345.)  
— **Einführung i. d. Geschichte d. A.** Von **Dr. S. Nohl**. (Bd. 602.)  
**Baukunst, Deutsche B.** Von **Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei**. 4 Bde. I. **Deutsche Baukunst im Mittelalter**. B. d. Anf. b. z. Ausgang d. roman. Baukunst. 4. Aufl. Mit 35 Abb. (Bd. 8.) II. **Gotik u. „Spätgotik“**. 4. Aufl. Mit 67 Abb. (Bd. 9.) III. **Deutsche Baukunst in d. Renaissance u. b. Barockzeit b. z. Ausg. d. 18. Jahrh.** 2. Aufl. Mit 63 Abb. i. Tert. (Bd. 326.) IV. **Deutsche B. im 19. Jahrh.** Mit 35 Abb. (Bd. 453.)  
— siehe auch **Renaissancearchitektur**.  
**Beethoven** siehe **Handn.**  
**Bildende Kunst, Bau und Leben der b. A.** Von **Dir. Prof. Dr. Th. Volz**. 2. Aufl. Mit 44 Abb. (Bd. 68.)  
— siehe auch **Baukunst, Griech. Kunst, Impressionismus, Kunst, Maler, Malerei, Stile**.

**Vörnsion** siehe **Aben**.  
**Buch, Wie ein Buch entsteht** siehe **Abt. VI**.  
— f. auch **Schrift- u. Buchwesen** **Abt. IV**.  
**Decorative Kunst d. Altertums**. Von **Dr. Fr. Poulsen**. M. 112 Abb. (Bd. 454.)  
**Deutsch** siehe **Baukunst, Drama, Frauenbildung, Heiden Sage, Kunst, Literatur, Verit, Maler, Malerei, Personennamen, Romantik, Sprache, Volkslied, Volks Sage**.  
**Drama, Das**. Von Dr. **B. Wulfe**. Mit 11 Abb. 3 Bde. I: **Von d. Antike z. franz. Klassizismus**. 2. Aufl. **neub. v. Oberl. Dr. Meblich**, Prof. Dr. **R. Ziemann** u. Prof. Dr. **G. Lasser**. M. 3 Abb. II: **Von Berailles bis Weimar**. 2. Aufl. III: **Von d. Romantik z. Gegenwart**. (377/289.)  
**Drama, D. dtsche, D. d. 19. Jahrh.** 3. f. **Entwickel. d. dtsch. v. Prof. Dr. G. Wittkowski**. 4. Aufl. M. Bildn. **Hebbels**. (Bd. 51.)  
— siehe auch **Grillparzer, Hauptmann, Hebbel, Aben, Lessing, Literatur, Schiller, Schafpeare, Theater**.  
**Dürer, Albrecht**. Von Prof. Dr. **R. Wurm**. 2. Aufl. von **Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei**. Mit Titelb. u. zahlr. Abbildungen. (Bd. 97.)

Fransösisch siehe Roman.  
Frauendichtung. Geschichte der deutschen F.  
seit 1800. Von Dr. S. Spiero. Mit  
3 Bildnissen auf 1 Tafel. (Bd. 390.)  
Fremdwortkunde. Von Dr. E. Richter.  
Gartenkunst siehe Abt. VI. (Bd. 570.)  
Griech. Komödie. Die. V. Geh.-Kat. Prof. Dr. H.  
Dr. A. Korte. M. Titelb. u. 2 Taf. (400.)  
Griechische Kunst. Die Blüthezeit der g. K.  
im Spiegel der Relieffarkophage. Eine  
Einf. i. d. griech. Plastik. V. Prof. Dr. H.  
Wachtler. 2. A. M. zahlr. Abb. (272.)  
— siehe auch Dekorative Kunst.  
Griech. Tragödie. Die. V. Prof. Dr. J.  
Geffken. M. 5 Abb. i. T. u. a. 1 Taf. (566.)  
Grillparzer, Franz. Von Prof. Dr.  
A. Kleinberg. M. Bildn. (Bd. 513.)  
Harmonielehre. Von Dr. S. Scholz.  
(Bd. 703/04.)  
Harmonium s. Tasteninstrum.  
Hauptmann, Gerhart. V. Prof. Dr. E. Sul-  
ger-Gebing. Mit 1 Bildn. 2., verb.  
u. verm. Aufl. (Bd. 283.)  
Händl. Mozart, Beethoven. Von Prof.  
Dr. C. Krebs. 2. Aufl. M. 4 Bildn. (92.)  
Hebel, Friedrich. V. Geh.-Kat. Prof. Dr. D.  
Walzel. 2. A. M. 1 Bildn. (408.)  
Heldenjage. Die germanische. Von Dr. J.  
W. Bruinier. (Bd. 486.)  
— siehe auch Volksjage.  
Somersische Dichtung. Die. Von Rektor  
Dr. G. Finsler. (Bd. 496.)  
Ibsen, Björnson u. i. Zeitgenossen. Von  
Prof. Dr. B. Kahle. 2. Aufl. v. Dr. G.  
Mroczkern. M. 7 Bildn. (85/193.)  
Impressionismus. Die Maler des J. Von  
Prof. Dr. B. Lazar. 2. A. M. 32 Abb.  
u. 1 farb. Tafel. (Bd. 395.)  
Instrumente s. Tasteninstrum., Orchester.  
Klavier siehe Tasteninstrumente.  
Komödie siehe Griech. Komödie.  
Kunst. Das Wesen der deutschen bilden-  
den K. Von Geh.-Kat. Prof. Dr. S.  
Thode. (Bd. 585.)  
— s. a. Bauk., Bild., Dekor., Griech. K.;  
Pompeji, Stile; Gartenk. Abt. VI.  
Kunstpflege in Haus u. Heimat. 3. Aufl.  
Mit Abb. (Bd. 77.)  
Leising. Von Dr. Ch. Schrempf. Mit  
einem Bildnis. (Bd. 403.)  
Literatur. Entwickl. der deutsch. L. seit  
Goethes Tod. V. Dr. W. Brecht. (595.)  
Lyrik. Geschichte d. deutsch. L. s. Claudius.  
V. Dr. S. Spiero. 2. Aufl. (Bd. 254.)  
— siehe auch Frauendichtung, Literatur,  
Minnesang, Volkslied.  
Maler. Die altdeutschen, in Süddeutsch-  
land. Von S. Remig. Mit 1 Abb. i.  
Text und Bilderanhang. (Bd. 464.)  
— s. Michelangelo, Impression, Rem-  
brandt.  
Malerei. Die deutsche, im 19. Jahrh. Von  
Prof. Dr. R. Hamann. 2 Bde. Text,  
2. Bde. m. 57 ganzseit. u. 200 halbf. Abb.,  
a. i. Geschl. ausg. erhältl. (Bd. 448—451.)

Malerei, Niederl. M. i. 17. Jahrh. V.  
Prof. Dr. S. Janzen. Mit 37 Abb.  
— siehe auch Rembrandt. (Bd. 373.)  
Märchen s. Volksmärchen.  
Michelangelo. Eine Einführung in das  
Verständnis seiner Werke. V. Prof. Dr.  
C. Hildebrandt. Mit 44 Abb. (392.)  
Minnesang. D. Liebe i. Liebe d. dtsh. Mit-  
telalt. V. Dr. J. W. Bruinier. (404.)  
Mozart siehe Händl.  
Musik. Die Grundlagen d. Tonkunst. Ver-  
such einer entwicklungsgefch. Darstell. d.  
allg. Musiklehre. Von Prof. Dr. S.  
Kiettsch. 2. Aufl. (Bd. 178.)  
— Musikalische Kompositionsformen. V.  
S. G. Kallenberg. Band I: Die  
elementar. Tonverbindungen als Grund-  
lage d. Harmonielehre. Bd. II: Kontra-  
punkt u. Formenlehre. (Bd. 412, 413.)  
— Geschichte der Musik. Von Dr. A.  
Einstein. (Bd. 438.)  
— Beispielsammlung zur älteren Musik-  
geschichte. V. Dr. A. Einstein. (439.)  
— Musikal. Romantik. Die Blüthezeit d. m.  
N. in Deutschland. Von Dr. E. Fitel.  
Mit 1 Silhouette (Bd. 239.)  
— s. a. Händl., Mozart, Beethoven, Oper,  
Orchester, Tasteninstrumente, Wagner.  
Muthologie, Germanische. Von Prof. Dr.  
J. v. Negelein. 3. Aufl. (Bd. 95.)  
— siehe auch Volksjage, Deutsche.  
Niederländische Malerei s. Malerei.  
Novelle siehe Roman.  
Oper. Die moderne. Vom Tode Wagners  
bis zum Weltkrieg (1883—1914). Von  
Dr. E. Fitel. Mit 3 Bildn. (Bd. 495.)  
— siehe auch Händl., Wagner.  
Orchester. Das moderne Orchester. Von  
Prof. Dr. Fr. Polbach. I. Die In-  
strumente d. O. (Bd. 384.) II. D. mod.  
O. i. s. Entwickl. 2. Aufl. (Bd. 308.)  
Orgel siehe Tasteninstrumente.  
Personennamen. D. deutsch. V. Geh.-Stu-  
dientrat A. Bähnisch. 2. A. (Bd. 296.)  
Perspektive, Grundzüge der P. nebst An-  
wendungen. Von Prof. Dr. R. Doeble-  
mann. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (510.)  
Phonetik, Einführ. i. d. Ph. Wiew. Spre-  
chen. V. Dr. E. Richter. M. 20 A. (354.)  
Photographie. D. künstler. Ihre Entwickl.,  
ihre Probl., i. Bedeutg. V. Dr. W. Bar-  
stat. 2., verb. Aufl. M. Bilderanhang. (410.)  
— s. auch Photographie Abt. VI.  
Plastik s. Griech. Kunst, Michelangelo.  
Portr. Von Dr. R. Müller-Freien-  
fels. (Bd. 460.)  
Pompeji. Eine hellenist. Stadt in Ita-  
lien. Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn.  
3. Aufl. M. 62 Abb. i. T. u. auf 1 Taf.,  
sowie 1 Plan. (Bd. 114.)  
Projektionslehre. In kurzer leichtfaßlicher  
Darstellung s. Selbstunterr. und Schul-  
gebrauch. V. Zeichn. U. Schudeischn.  
Mit 164 Fig. (Bd. 564.)

**Rembrandt.** Von Prof. Dr. P. Schubring. 2. Aufl. Mit 48 Abb. auf 28 Taf. i. Anh. (Wb. 153.)  
**Renaisancearchitektur in Italien.** Von Dr. P. Frankl. 2 Bde. I. M. 12 Taf. u. 27 Tertab. II. M. 166. (Wb. 381/382.)  
**Rhetorik.** Von Prof. Dr. C. Geißler. 2. Bde. 2. Aufl. I. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. II. Deutsche Redekunst. (Wb. 455/456.)  
**Roman.** Der französische Roman und die Novelle. Ihre Geschichte v. d. Anf. b. z. Gegenw. Von O. Flate. (Wb. 377.)  
**Romantik.** Deutsche. V. Geh. Hofrat Prof. Dr. O. F. Walzel. 4. Aufl. I. Die Weltanschauung. II. Die Dichtung. (Wb. 232/233.)  
 — Die Blütezeit der mus. R. in Deutschland. Von Dr. E. Fstel. (Wb. 239.)  
**Sage** siehe Heldensage, Mythol., Volksage.  
**Schauspieler.** Der. Von Prof. Dr. Ferdinand Gregori. (Wb. 692.)  
**Schiller.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit 1 Bildn. 3. Aufl. (Wb. 74.)  
**Schillers Dramen.** Von Prognostikdirektor E. Heusermann. (Wb. 493.)  
**Shakespeare und seine Zeit.** Von Prof. Dr. E. Siever. M. 3 Abb. 2. Aufl. (185.)  
**Sprache.** Die Haupttypen des menschlich. Sprachbaus. Von Prof. Dr. F. N. Fınd. 2. Aufl. v. Prof. Dr. E. Kiederz. (268.)  
 — Die deutsche Sprache von heute. Von Dr. W. Fischer. (Wb. 475.)  
 — Fremdwortkunde. Von Dr. Elise Richter. (Wb. 570.)  
 — siehe auch Phonetik, Rhetorik; ebenso Sprache u. Stimme Abt. V.

**Sprachstämme.** Die. des Erdkreises. Von Prof. Dr. F. N. Fınd. 2. Aufl. (Wb. 267.)  
**Sprachwissenschaft.** Von Prof. Dr. R. Sandfeld-Jensen. (Wb. 472.)  
**Stile.** Die Entwicklungsgech. d. St. in der bild. Kunst. V. Dr. E. Cohn-Wiener. 2. Aufl. I.: V. Altertum b. z. Gottf. M. 66 Abb. II.: V. d. Renaissance b. z. Gegenwart. Mit 42 Abb. (Wb. 317/318.)  
**Tasteninstrumente.** Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der Tasteninstrumente. V. Prof. Dr. D. Vie. (Wb. 325.)  
**Theater.** Das. Schauspielhaus u. -kunst v. griech. Altert. bis auf d. Gegenw. V. Prof. Dr. Chr. Gaehebe. 2. M. 18 Abb. (Wb. 230.)  
**Tragödie** i. Griech. Tragödie.  
 — siehe auch Schauspieler.  
**Urheberrecht** siehe Abt. VI.  
**Volkslied.** Das deutsche. Über Wesen und Werden d. deutschen Volksliedes. Von Dr. J. W. Bruhier. 5. Aufl. (Wb. 7.)  
**Volksmärchen.** Das deutsche V. Von Parvler R. Sieß. (Wb. 587.)  
**Volksage.** Die deutsche. übersichtl. dargest. v. Dr. D. Bödel. 2. Aufl. (Wb. 262.)  
 — siehe auch Heldensage, Mythologie.  
**Wagner.** Das Kunstwerk Richard W.s. Von Dr. E. Fstel. M. 1 Bildn. 2. Aufl. (330.)  
 — siehe auch Musikal. Romantik u. Oper.  
**Zeichnung.** Der Weg z. 3. Ein Büchlein für theoretische und praktische Selbstbildung. Von Dr. E. Weber. 2. Aufl. Mit 81 Abb. u. 1 Farbatfel. (Wb. 430.)  
 — i. auch Perspektiv, Projektionslehre; Geomtr. Zeichnen Abt. V, Techn. Abt. VI. Zeitungsweisen. V. Dr. S. Diez. (Wb. 328.)

#### IV. Geschichte, Kulturgeschichte und Geographie.

**Alpen.** Die. Von H. Reishauer. 2., Neub. Aufl. von Dr. S. Stanar. Mit 26 Abb. und 2 Karten. (Wb. 276.)  
**Altertum.** Das. im Leben der Gegenwart. V. Prov.-Schul- u. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. B. Cauer. 2. Aufl. (Wb. 356.)  
 — D. Altertum, seine staatliche u. geistige Entwicklung und deren Nachwirkungen. Von Oberlehr. S. Peller. (Wb. 612.)  
**Amerika.** Gesch. d. Verein. Staaten v. A. V. Prof. Dr. E. Daenell. 2. M. (Wb. 147.)  
**Amerikaner.** Die. V. N. M. Butler. Dtsch. v. Prof. Dr. W. Paszkowski. (319.)  
**Antike Wirtschaftsgeschichte.** V. Privatdoz. Dr. O. Neurath. 2. Auflage. (Wb. 258.)  
**Antikes Leben nach den ägyptischen Papyri.** Von Geh. Hofrat Prof. Dr. Fr. Preisigke. Mit 1 Tafel. (Wb. 565.)  
**Arbeiterbewegung** i. Soziale Bewegungen.  
**Australien und Neuseeland.** Land, Leute und Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schächner. Mit 23 Abb. (Wb. 366.)

**Babylonische Kultur.** Die. i. Verbreit. u. i. Nachwirkungen auf d. Gegenw. V. Prof. Dr. F. C. Lehmann-Haupt. (Wb. 579.)  
**Baltische Provinzen.** V. Dr. B. Tornius. 3. Aufl. M. 8 Abb. u. 2 Kartensl. (Wb. 542.)  
**Bauernhaus.** Kulturgeschichte des deutschen V. Von Baurat Dr.-Ing. Chr. Randa. 3. Aufl. Mit 11 Abb. (Wb. 121.)  
**Bauernstand.** Gesch. d. dtsh. V. V. Prof. Dr. S. Gerdes. 2., verb. Aufl. Mit 22 Abb. i. Text (Wb. 320.)  
**Belgien.** Von Dr. F. Schwald. 3. Aufl. Mit 4 Karten i. T. (Wb. 501.)  
**Bismarck und seine Zeit.** Von Professor Dr. B. Valentini. Mit einem Titelbild. 4., durchgef. Aufl. (Wb. 500.)  
**Böhmen.** Zur Einführung in die böhmische Frage. Von Prof. Dr. R. F. Randl. Mit 1 Karte. (Wb. 701.)  
**Brandenburg.-preuß. Gesch.** Von Archivar Dr. Fr. Israel. 2 Bde. I. Von d. ersten Anfängen b. z. Tode König Fr. Wilhelms I. 1740. II. Von dem Regierungsantritt Friedrichs d. Gr. bis zur Gegenwart. (Wb. 440/441.)

Bürger im Mittelalter s. Städte.

Calvin, Johann. Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit 1 Bildnis. 2. Aufl. (Bd. 247.)

China. V. Prof. Dr. A. Conrady. (557.)

Christentum u. Weltgeschichte seit der Reformation. Von Prof. D. Dr. R. Sell. 2 Bde. (Bd. 297/298.)

Deutsch siehe Bauernhaus, Bauernland, Dorf, Feste, Frauenleben, Geschichte, Handel, Handwerk, Reich, Staat, Städte, Verfassung, Verfassungsrecht, Volkskunde, Volksstämme, Volkstrachten, Wirtschaftsleben usw.

Deutschtum im Ausland, Das, vor dem Weltkrieg. Von Prof. Dr. R. Hoeniger. 2. Aufl. (Bd. 402.)

Dorf. Das deutsche. V. Prof. R. Mielke. 2. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)

Eiszeit, Die, und der vorgeschichtliche Mensch. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. G. Steinmann. 2. Aufl. M. 24 Abbildungen. (Bd. 302.)

Englands Weltmacht in ihrer Entwickel. seit d. 17. Jahrh. M. Bildn. F. Dir. Prof. Dr. W. Langenbed. 2. Aufl. (Bd. 174.)

Entdeckungen, Das Zeitalter der. Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltkarte. (Bd. 26.)

Erde siehe Mensch u. G.

Erdbunde, Allgemeine. 8 Bde. Mit Abb.

I. Die Erde, ihre Beweg. u. ihre Eigenschaften (math. Geogr. u. Geonomie). Von Admiralsitzr. Prof. Dr. E. Rohlfshütter. (Bd. 625.) II. Die Atmosphäre der Erde (Klimatologie, Meteorologie). Von Prof. O. Pasch. (Bd. 626.) III. Geomorphologie. Von Prof. F. Machatschek. M. 33 Abb. (Bd. 627.) IV. Physiogeographie d. Südwassers. V. Prof. F. Machatschek. M. 24 Abb. (Bd. 628.)

V. Die Meere. Von Prof. Dr. A. Merz. (Bd. 629.) VI. Die Verbreitung der Pflanzen. Von Dr. Brockmann-Ferrosch. (Bd. 630.) VII. Die Verbreitg. d. Tiere. V. Dr. W. Knopff. (Bd. 631.)

VIII. Die Verbreitg. d. Menschen auf d. Erdoberfläche (Anthropogeographie). V. Prof. Dr. R. Krebs. (Bd. 632.)

Europa, Vorgeschichte d. s. Von Prof. Dr. E. Schmidt. (Bd. 571/572.)

Familienforschung. Von Dr. E. Deubrient. 2. Aufl. M. 6 Abb. i. Z. (350.)

Feldherren, Große. Von Major F. E. Endres. (Bd. 687/688.)

Feste, Deutsche, u. Volksbräuche. V. Priv.-Doz. Dr. G. Febrle. M. 30 Abb. (Bd. 518.)

Finnland, Von Doktor F. Ohquist. (700.)

Franzöf. Geschichte. I: D. frz. Königstum. V. Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 574.)

— siehe auch Napoleon, Revolution.  
Frauenbewegung, Die mod. V. Dr. Marie Bernh. (Bd. 723.)

Frauenleben, Deutsch., i. Wandel d. Jahrhunderte. Von Geh. Schulrat Dr. E. Otto. 3. Aufl. 12 Abb. i. Z. (Bd. 45.)

Friedrich d. Gr. 6 Bortr. V. Prof. Dr. T. H. Bitter auf. 2. M. 2 Bildn. (246.)

Gartenkunst, Gesch. d. G. V. Baurat Dr.-Ing. Chr. Haack. M. 41 Abb. (274.)

Geographie der Vorkwelt (Paläogeographie) Von Priv.-Doz. Dr. E. Dacque. Mit 78 Abb. (Bd. 610.)

— Einführg. i. d. Studium der G. Von Prof. Dr. G. Braun. (Bd. 693.)  
Geologie siehe Abt. V.

German. Heldensage s. Heldensage.

Germanische Kultur in der Urzeit. Von Bibliotheksdir. Prof. Dr. G. Steinhäusen. 3. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)

Geschichte, Deutsche, im 19. Jahrh. b. z. Reichseinheit. V. Prof. Dr. R. Schwemer. 3 Bde. I: Von 1800—1848.

Restauration und Revolution. 3. Aufl. (Bd. 37.) II: Von 1848—1862. Die Reaktion und die neue Era. 2. Aufl. (Bd. 101.) III: Von 1862—1871. V. Bund z. Reich. 2. Aufl. (Bd. 102.)

Gesellschaft u. Geselligkeit in Vergangenheit u. Gegenwart. Von Oberin S. Trautwein. (Bd. 706.)

Griechentum, Das G. in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Prof. Dr. R. v. Scala. Mit 46 Abb. (Bd. 471.)

Griechische Städte, Kulturbilder aus gr. St. Von Professor Dr. E. Ziebarth. 2. M. 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)

Handel, Geschichte d. Welthandels. Von Realgymnasial-Dir. Prof. Dr. M. G. Schmidt. 3. Aufl. (Bd. 118.)

— Geschichte des deutschen Handels seit d. Ausgang des Mittelalters. Von Dir. Prof. Dr. W. Langenbed. 2. Aufl. Mit 16 Tabellen. (Bd. 237.)

Handwerk, Das deutsche, in seiner kulturgeschichtl. Entwickl. Von Geh. Schulrat Dr. E. Otto. 4. Aufl. Mit 33 Abb. auf 12 Tafeln. (Bd. 14.)

— siehe auch Dekorative Kunst Abt. III.  
Haus, Kunstpflege in Haus und Heimat. 3. Aufl. Mit Abb. (Bd. 77.)

— siehe auch Bauernhaus, Dorf.  
Heldensage, Die germanische. Von Dr. F. W. Bruinier. (Bd. 486.)

Hellenist.-röm. Religionsgeschichte s. Abt. I.  
Jesuiten, Die. Eine hist. Skizze. Von Prof. Dr. S. Boehmer. 4. Aufl. (Bd. 49.)

Indien. Von Prof.-Dr. Sten Konow. (Bd. 614.)

Indogermanenfrage. Von Dir. Dr. R. Uggab. (Bd. 594.)

Island, b. Band u. b. Volk. V. Prof. Dr. B. Herrmann. M. 9 Abb. (Bd. 461.)

Kaiserthum und Papsttum. Von Prof. Dr. A. Hofmeister. (Bd. 576.)

**Kartenkunde, Vermessungs- u. A.** 6 Bde.  
Mit Abb. I. Geogr. Ortsbestimmung.  
Von Prof. Schnauder. (Bd. 606.)  
II. Erdmessung. Von Prof. Dr. D. Eg-  
gert. (Bd. 607.) III. Landmess. B. Geh.  
Finanzrat Sudow. (Bd. 608.) IV. Aus-  
gleichsrechnung. Von Geh. Reg.-Rat  
Prof. Dr. E. Hegemann. (Bd. 609.)  
V. Photographie und Stereophoto-  
grammetrie. Von Diplom.-Ing. S. Lü-  
scher. (Bd. 610.) VI. Kartenkunde. Von  
Finanzrat Dr.-Ing. A. Egerer. I. Ein-  
führ. i. d. Kartenverständnis. 2. Karten-  
herstellung (Landesaufn.). (Bd. 611/612.)  
**Kirche i. Staat u. A.; Kirche Abt. I.**  
**Kolonien, Die deutschen.** (Band u. Leute.)  
Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit  
28. Abb. u. 8 Karten. (Bd. 98.)  
**Königstum, Französisches.** Von Prof. Dr.  
R. Schwemer (Bd. 574.)  
**Krieg, Kulturgeschichte d. A.** Von Prof.  
Dr. A. Weule, Geh. Hofrat Prof. Dr.  
E. Fette, Prof. Dr. B. Schmeid-  
ler, Prof. Dr. A. Doren, Prof. Dr.  
B. Serre. (Bd. 561.)  
— **Der Dreißigjährige Krieg.** Von Dr.  
Fris Endres. (Bd. 577.)  
— **i. auch Feldherren.**  
**Kriegsschiffe, Unsere. Ihre Entstehung u.**  
**Berwendung.** B. Geh. Mar.-Baur. a. D.  
E. Krieger. 2. Aufl. v. Geh. Mar.-  
Baur. Fr. Schärer. M. 62 Abb. (389.)  
**Luther, Martin u. d. dtische Reformation.**  
Von Prof. Dr. W. Köhler. 2., verb.  
Ausf. M. 1. Bildn. Luthers. (Bd. 515.)  
— **i. auch** Von B. zu Bismard.  
**Mary, Karl. Versuch einer Einführg. B.**  
Prof. Dr. R. Wilbrandt. 2. A. (621.)  
**Mensch u. Erde. Skizzen v. den Wechsel-**  
**beziehungen zwischen beiden.** Von Geh.  
Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl.  
— **i. a. Eiszeit; Mensch** Abt. V. [(Bd. 31.)  
**Mittelalter. Mittelalterl. Kulturideale.** B.  
Prof. Dr. B. Bedel. I.: Seldeneben.  
II.: Ritterromantik. (Bd. 292, 293.)  
— **i. auch Städte u. Bürger i. M.**  
**Moske.** Von Major F. C. Endres. Mit  
1 Bildn. (Bd. 415.)  
**Münze. Grundriß d. Münzkunde.** 2. Aufl.  
I. Die Münze nach Wesen, Gebrauch u. Be-  
deutg. B. Hofrat Dr. A. Luchin v.  
Ehngreuth. M. 56 Abb. II. Die  
Münze v. Altertum b. z. Gegenwart. Von  
Prof. Dr. S. Buchenau. (Bd. 91, 657.)  
— **i. a. Finanzwiss., Geldwesen** Abt. VI.  
**Nykenische Kultur, Die.** Von Prof. Dr. F.  
C. Lehmann-Haupt. (Bd. 581.)  
**Mythologie** f. Abt. I.  
**Napoleon I.** Von Prof. Dr. Th. Bitter-  
auf. 3. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.)  
**Nationalbewußtsein** siehe Volk.  
**Natur u. Mensch.** B. Dir. Prof. Dr. M. G.  
Schmidt. M. 19 Abb. (Bd. 458.)

**Naturvölker. Die geistige Kultur der A.**  
B. Prof. Dr. R. Th. Breuß. M. 9 Abb.  
— **i. a. Völkerkunde, allg.** [(Bd. 452.)  
**Neugriechenland.** Von Prof. Dr. A. Sei-  
senberg. (Bd. 613.)  
**Neuseeland** f. Australien.  
**Orient i. Indien, Palästina, Türkei.**  
**Osten.** Der Zug nach dem O. Die Groß-  
tat d. deutsch. Volkes i. Mittelalt. B. Geh.  
Hofrat Prof. Dr. Hampe. (Bd. 731.)  
**Ostmark** f. Abt. VI.  
**Österreich. O.'s innere Geschichte von 1848**  
**bis 1895.** B. R. Charmab. 3., veränd.  
Ausf. I. Die Vorherrschaft der Deutschen.  
II. Der Kampf der Nationen. (651/652.)  
— **Geschichte der auswärtigen Politik O.'s**  
**im 19. Jahrhundert.** B. R. Charmab.  
2., veränd. Ausf. I. Bis zum Sturz Met-  
ternichs. II. 1848—1895. (653/654.)  
— **Österreichs innere u. äußere Politik von**  
**1895—1914.** B. R. Charmab. (655.)  
**Ostseegebiet, Das.** B. Prof. Dr. G. Brau-  
n. M. 21 Abb. u. 1 mehrf. Karte. (Bd. 367.)  
— **i. auch Baltische Provinzen, Finnland.**  
**Palästina und seine Geschichte.** Von  
Prof. Dr. S. Frh. von Soden. 4. Aufl.  
Mit 1 Plan von Jerusalem u. 3 Auf. d.  
Heiligen Landes. (Bd. 6.)  
— **B. u. f. Kultur in 5 Jahrtausenden.**  
Nach d. neuest. Ausgrab. u. Forschungen  
dargest. von Prof. Dr. P. Thomseu.  
2., neubearb. Ausf. Mit 37 Abb. (260.)  
**Papsttum** f. Kaiserthum.  
**Papri** f. Antikes Leben.  
**Polarforschung. Geschichte der Entbedungs-**  
**reisen zum Nord- u. Südpol v. d. ältest.**  
**Zeiten bis zur Gegenw.** B. Prof. Dr. R.  
Haffert. 3. Aufl. M. 6 Kart. (Bd. 38.)  
**Polen. Mit einem geschichtl. Überblick üb. d.**  
**polnisch-ruthen. Frage.** B. Prof. Dr. R. F.  
Kaindl. 2., verb. Ausf. M. 6 Kart. (547.)  
**Politik.** B. Dr. A. Grabowski. (Bd. 537.)  
— **Umrisse der Weltvol.** B. Prof. Dr. F.  
Hachagen. 3 Bde. I.: 1871—1907.  
2. Aufl. II.: 1908—1914. 2. Aufl. III.: D. vol.  
Creign. währ. d. Krieges. (Bd. 553/555.)  
— **Politische Geographie.** Von Prof. Dr.  
W. Vogel. (Bd. 634.)  
— **Politische Hauptströmungen in Europa**  
**im 19. Jahrhundert.** Von Prof. Dr.  
R. Th. v. Seigel. 4. Aufl. von Dr.  
Fr. Endres. (Bd. 129.)  
**Pompeii, eine hellenistische Stadt in Ita-**  
**lien.** Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn.  
3. Aufl. Mit 62 Abb. f. L. u. auf 1 Taf.  
sowie 1 Plan. (Bd. 114.)  
**Preussische Geschichte** f. Brandenb.-Pr.  
**Reaktion und neue Kra f. Gesch., deutsche.**  
**Reformation** f. Calvin, Luther.  
**Reich, Das Deutsche R. von 1871 b. z. Welt-**  
**krieg.** B. Archivar Dr. F. Israel. (575.)  
**Religion** f. Abt. I.  
**Restauration und Revolution** siehe Ge-  
schichte, deutsche.

Revolution. Geschichte der Französl. R.  
B. Prof. Dr. Th. Bitter auf. 2. Aufl.  
Mit 8 Bildn. (Bd. 346.)  
— 1848. 6 Vorträge. Von Prof. Dr.  
O. Weber. 3. Aufl. (Bd. 53.)  
Rom. Das alte Rom. Von Geh. Reg.-Rat  
Prof. Dr. O. Richter. Mit Bilderan-  
hang u. 4 Plänen. (Bd. 386.)  
— Die römische Republik. Von Privat-  
dog. Dr. A. Rosenberg. (Bd. 719.)  
— Soziale Kämpfe i. alt. Rom. V. Privat-  
dozent Dr. S. Bloch. 3. Aufl. (Bd. 22.)  
— Roms Kampf um die Welt Herrschaft.  
Von Geh. Hofrat Prof. Dr. F. Pro-  
maner. (Bd. 368.)  
Geschichte der Römer. Von Prof. Dr.  
R. v. Scala. (Bd. 578.)  
— siehe auch Hellenist.-röm. Mittelaltersge-  
schichte Abt. I.; Pompeji Abt. III.  
England. Geschichte, Staat, Kultur. Von  
Dr. A. Luther. (Bd. 563.)  
Schrift- und Buchwesen in alter und neuer  
Zeit. Von Prof. Dr. O. Weise. 4. Aufl.  
Mit 37 Abb. (Bd. 4.)  
— i. a. Buch. Wie ein B. entsteht. Abt. VI.  
Schweiz. Die. Land, Volk, Staat u. Wirt-  
schaft. Von Reg.- u. Ständerat Prof. Dr.  
O. Wettstein. Mit 1 Karte. (Bd. 482.)  
Seekrieg i. Kriegsschiff.  
Sitten und Gebräuche in alter und neuer  
Zeit. Von Prof. Dr. E. Samter. (682.)  
Soziale Bewegungen und Theorien bis  
zur modernen Arbeiterbewegung. Von  
G. Moier. 6. Aufl. (Bd. 2.)  
— i. a. Marx, Kom.; Sozialism. Abt. VI.  
Staat. St. u. Kirche in ihr. gegenf. Verhält-  
nis seit d. Reformation. V. Barrer Dr.  
phil. H. Pfannkuche. (Bd. 485.)  
— Dtsche. Städte u. Bürger i. Mittel-  
alter. V. Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit  
zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)  
— Verfassung u. Verwaltung d. deutschen  
Städte. V. Dr. M. Schmid. (Bd. 466.)  
— i. a. Griech. Städte, Pompeji, Rom.  
Sternsglaube und Sterndeutung. Die Ge-  
schichte u. d. Wesen d. Astrologie. Unt.  
Mithrid. v. Geh. Rat Prof. Dr. G. Be-  
zold dargef. v. Geh. Hofr. Prof. Dr. Fr.  
Boll. 2. Aufl. M. 1 Sternf. u. 20 Abb. (638.)  
Student. Der Leipziger, von 1409 bis  
1909. Von Dr. B. Bruchmüller.  
Mit 25 Abb. (Bd. 273.)  
Studententum. Geschichte d. deutschen St.  
Von Dr. B. Bruchmüller. (Bd. 477.)

Türkei. Die. B. Reg.-Rat P. R. Krause.  
Mit 2 Karten i. Text und auf 1 Tafel.  
2. Aufl. (Bd. 469.)  
Urzeit i. german. Kultur in der u.  
Verfassung. Grundzüge der V. des Deut-  
schen Reiches. Von Geheimrat Prof. Dr.  
E. Löning. 5. Aufl. (Bd. 34.)  
Verfassungsrecht. Deutsches, in geschicht-  
licher Entwicklung. Von Prof. Dr. E. d.  
Subrich. 2. Aufl. (Bd. 80.)  
Vermessungs- u. Kartenkunde f. Kartent.  
Voll. Von deutichen B. zum dt. Staat.  
Eine Geich. d. dt. Nationalbewusstseins.  
V. Prof. Dr. P. Joachimsen. (Bd. 511.)  
Völkerkunde. Allgemeine. I: Feuer, Nah-  
rungserwerb, Wohnung, Schmud und  
Kleidung. Von Dr. A. Heilborn. M.  
54 Abb. (Bd. 487.) II: Waffen u. Werk-  
zeuge, Industrie, Handel u. Geld, Ver-  
kehrsmittel. Von Dr. A. Heilborn.  
M. 51 Abb. (Bd. 488.) III: Die geistige  
Kultur der Naturvölker. Von Prof. Dr.  
R. Th. Preuß. M. 9 Abb. (Bd. 452.)  
Volkserträge, deutsche, siehe Feste.  
Volkstunde. Deutsche, im Grundriß. Von  
Prof. Dr. E. Reusche I. I. Allgemeines.  
Sprache, Volksbildung. (Bd. 644.)  
— i. auch Bauernhaus, Feste, Sitten,  
Sterngläub., Volkstracht., Volksstämme,  
Volksstämme, Die deutschen, und Land-  
schaften. Von Prof. Dr. O. Weise.  
5., völlig umgearb. Aufl. Mit 30 Abb.  
i. Text u. auf 20 Taf. u. einer Dialekt-  
karte Deutschlands. (Bd. 16.)  
Volkstrachten. Deutsche. Von Barrer R.  
Spieß. Mit 11 Abb. (Bd. 342.)  
Von Bund zum Reich siehe Geschichte.  
Von Sena bis zum Wiener Kongreß. Von  
Prof. Dr. G. Koloff. (Bd. 465.)  
Von Luther zu Bismard. 12 Charak-  
terbild. a. deutscher Gesch. V. Prof. Dr. O.  
Weber. 2 Bde. 2. Aufl. (Bd. 123/124.)  
Vorgeschichte Europas. Von Prof. Dr. S.  
Schmidt. (Bd. 571/572.)  
Weltgeschichte f. Christentum.  
Welthandel f. Handel.  
Weltpolitik f. Politik.  
Wirtschaftsgeschichte, Antike. Von Privat-  
dozent Dr. O. Neurath. 2., umgear-  
beitete Auflage. (Bd. 258.)  
— i. a. Antikes Leben n. d. ägypt. Baptri.  
Wirtschaftsleben. Deutsches. Auf agrar.  
Grundl. gesch. B. Prof. Dr. Chr. Gru-  
ber. 4. Aufl. V. Dr. S. Kleinlein. (42.)  
— i. auch Abt. VI.

**V. Mathematik, Naturwissenschaften und Medizin.**

Aberglaube. Der, in der Medizin u. f. Ge-  
sundh. u. Leben. V. Prof. Dr.  
D. v. Sansemann. 2. Aufl. (Bd. 83.)  
Abtammungs- und Vererbungslehre. Er-  
perimentelle. Von Prof. Dr. E. Leh-  
mann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.)  
Abtammungslehre u. Darwinismus. V. Br.  
Dr. R. Seife. 5. M. 40 Abb. (Bd. 39.)

Abwehrkräfte des Körpers. Die. Eine Glu-  
führung in die Immunitätslehre. Von  
Prof. Dr. med. H. Kämmerer. Mit  
52 Abbildungen. (Bd. 479.)  
Akustik. Einführung in die A. Von Prof.  
Dr. F. A. Schulze. (Bd. 622.)  
Algebra siehe Arithmetik. I (Bd. 601.)  
Ameisen. Die. Von Dr. med. S. Brun.

- Anatomie d. Menschen, Die.** V. Prof. Dr. R. v. Bardeleben. 6 Bde. Jeder Bd. mit zahlr. Abb. (Bd. 418/423.) I. Zelle und Gewebe, Entwicklungsgeichte. Der ganze Körper. 3. Aufl. II. Das Skelett. 2. Aufl. III. Das Muskel- u. Gefäßsystem. 2. Aufl. IV. Die Eingeweide (Darm-, Atmungs-, Harn- und Geschlechtsorgane, Haut). 3. Aufl. V. Nervensystem und Sinnesorgane. VI. Mechanik (Statik u. Kinetik) d. menschl. Körpers (der Körper in Ruhe u. Bewegung). 2. Aufl.  
— siehe auch Wirbeltiere.
- Aquarium, Das.** Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)
- Arbeitsleistungen des Menschen, Die.** Einführung in d. Arbeitsphysiologie. V. Prof. Dr. S. Borittan. M. 14 Fig. (Bd. 539.)
- Berufswahl, Begabung u. Arbeitsleistung in i. gegenj. Beziehungen. Von W. J. Ruttman. Mit 7 Abb. (Bd. 522.)
- Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht.** Von Prof. P. Franke. 2 Bände. I.: Die Rechnungsarten. Gleichungen 1. Grades mit einer u. mehreren Unbekannten. Gleichungen 2. Grades. 6. Aufl. M. 9 Fig. i. Text. II.: Gleichungen, Arithmetik u. geometr. Reih. Zinneszins- u. Rentenrechn. Kompl. Zahlen. Binom. Lehrsatz. 4. Aufl. M. 21 Fig. (Bd. 120, 205.)
- Arzneimittel und Genußmittel.** Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)
- Arzt, Der.** Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leitfadens der sozialen Medizin. Von Dr. med. M. Fürst. 2. Aufl. (Bd. 265.)
- Astronomie. Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit.** 2. Aufl. Von Prof. Dr. E. Oppenheim. I. Probleme der mod. Astronomie. Mit 11 Fig. (Bd. 355.) II. Mod. Astronomie. (Bd. 445.)
- Die A. in ihrer Bedeutung für das praktische Leben. Von Prof. Dr. H. Marcuse. Mit 26 Abb. (Bd. 378.)
- siehe auch Mond, Planeten, Sonne, Weltall, Weltbild; Sterngläubere. Abt. I. Atome i. Materie.
- Auge, Das, und die Brille.** Von Prof. Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. u. 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)
- Ausgleichsrechn. f. Kartentbe.** Abt. IV.
- Bakterien, Die, im Haushalt und der Natur des Menschen.** Von Prof. Dr. E. Gutzeit. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (242.)
- Die krankheitsregenden Bakterien. Grundtatsachen d. Entsch., Heilung u. Verhütung d. bakteriellen Infektionskrankheiten d. Menschen. V. Prof. Dr. M. Soehlein. 2. Aufl. M. 33 Abb. (Bd. 307.)
- i. a. Abwehrkräfte, Desinfektion, Pilze, Schädlinge.
- Bau u. Tätigkeit d. menschl. Körpers, Einf. in die Physiologie d. Menschen.** V. Prof. Dr. S. Sachz. 4. Aufl. M. 34 Abb. (Bd. 32.)
- Begabung i. Arbeitsleistung.**
- Befruchtung und Geringung.** Von Dr. E. Teichmann. 2. Aufl. M. 9 Abb. u. 4 Doppeltafeln. (Bd. 70.)
- Bewegungslehre f. Mechan., Aufg. a. d. M. I.**
- Bienen, Die.** Von Prof. Dr. E. Zander. (Bd. 705.)
- Biochemie. Einführung in die B. in elementarer Darstellung.** Von Prof. Dr. W. Löb. Mit 12 Fig. 2. Aufl. v. Prof. Dr. S. Friedenthal. (Bd. 352.)
- Biologie, Allgemeine, Einführ. i. d. Hauptprobleme d. organ. Natur.** V. Prof. Dr. S. Wiehe. 2. Aufl. 52 Fig. (Bd. 130.)
- , Experimentelle. Regeneration, Transplantat und verwandte Gebiete. Von Dr. E. Theing. Mit 1 Tafel und 69 Textabbildungen. (Bd. 337.)
- siehe a. Abstammungslehre, Bakterien, Befruchtung, Fortpflanzung, Lebewesen, Organismen, Schädlinge, Tiere, Artiere.
- Blumen, Unsere Bl. u. Pflanzen im Garten.** Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
- Unf. Bl. u. Pflanzen i. Zimmer. V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)
- Blut, Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen.** Von Prof. Dr. S. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
- Botanik, B. d. praktischen Lebens.** V. Prof. Dr. B. Gisevius. M. 24 Abb. (Bd. 173.)
- siehe Blumen, Lebewesen, Pflanzen, Pilze, Schädlinge, Wald; Kolonialbotanik, Tabak Abt. VI.
- Brille f. Auge u. d. Brille.**
- Chemie, Einführung in die allg. Ch. B. Studienrat Dr. B. Davink. 2. Aufl. Mit zahlr. Fig. (Bd. 582.)**
- Einführg. i. d. organ. Chemie; Natürl. u. künstl. Pflanz.- u. Tierstoff. B. Studienrat Dr. B. Davink. 2. Aufl. M. 9 Abb. (187.)
- Einführung i. d. anorganische Chemie. B. Studienrat Dr. B. Davink. (598.)
- Einführung i. d. analyt. Chemie. B. Dr. F. Rüsberg. 2 Bde. (Bd. 524, 525.)
- Die künstliche Herstellung von Naturstoffen. V. Prof. Dr. E. Rüß. (Bd. 674.)
- Ch. in Küche und Haus. Von Dr. F. Klein. 4. Aufl. (Bd. 76.)
- siehe a. Biochemie, Elektrochemie, Luft, Photoch.; Agrilkulturh., Sprengstoffe, Technik, Chem. Abt. VI.
- Chemikalienkunde.** Von Chemiker Emil Drechsler. (Bd. 728.)
- Chirurgie, Die, unserer Zeit.** Von Prof. Dr. F. Feßler. Mit 52 Abb. (Bd. 339.)
- Darwinismus, Abstammungslehre und D.** Von Prof. Dr. R. Hesse. 5. Aufl. Mit 40 Textabb. (Bd. 39.)
- Desinfektion, Sterilisation und Konservierung.** Von Reg.- u. Med.-Rat Dr. O. Solbrig. M. 20 Abb. i. T. (Bd. 40.)

Differentialrechnung unter Berücksichtig. d. prakt. Anwendung in der Technik mit zahlr. Beispielen u. Aufgaben versehen. Von Studienrat Dr. M. Bindow. 2. A. M. 45 Fig. i. Text u. 161 Aufg. (387.)  
— siehe a. Integralrechnung.  
Drogenkunde. V. Chem. G. Drechsler. (727.)  
Dynamik s. Mechanik, Aufg. a. b. techn. M. 2 Bde., ebenso Thermodynamik.  
Eizzeit, Die, u. der vorgesch. Mensch. Von Geh. Bergr. Prof. Dr. G. Steiman u. 2. Aufl. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)  
Elektrochemie u. ihre Anwendungen. Von Prof. Dr. R. Arndt. 2. Aufl. Mit 37 Abb. i. T. (Bd. 234.)  
Elektrotechnik. Grundlagen der E. Von Oberingenieur A. Roth. 2. Aufl. Mit 74 Abb. (Bd. 391.)  
Energie. D. Lehre v. d. E. V. Oberlehrer A. Stein. 2. A. M. 13 Fig. (Bd. 257.)  
Entwickelungsgeschichte d. Menschen. V. Dr. A. Heilborn. M. 60 Abb. (Bd. 388.)  
Erde s. Weltentstehung u. -untergang.  
Ernährung und Nahrungsmittel. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Funke. 3. Aufl. Mit 6 Abb. i. T. u. 2 Taf. (19.)  
Experimentalchemie s. Luft usw.  
Experimentalphysik s. Physik.  
Farben s. Licht u. F.; s. a. Farben Abt. VI.  
Feistigkeitstheorie s. Statik.  
Fisikne, Die. V. Dr. Aug. Köhl. (677.)  
Fortpflanzung. F. und Geschlechtsunterschiede d. Menschen. Eine Einführung in die Sexualbiologie. V. Prof. Dr. S. Boruttan. 2. Aufl. M. 39 Abb. (Bd. 540.)  
Garten. Der kleine. Von Redakteur Joh. Schneider. 2. Aufl. M. 80 Abb. (498.)  
— Der Hausgarten. Von Gartenarchitekt F. Schubert. Mit 16 Abb. (Bd. 502.)  
— siehe auch Blumen, Pflanzen; Gartenkunst, Gartenstadtbewegung Abt. VI.  
Gebirg, Das menschl. s. Erkrank. u. Pflege. V. Zahnarzt Fr. Jäger. M. 24 Abb. (229.)  
Geisteskrankheiten. V. Geh. Med.-Rat Oberkassarzt Dr. G. Alberg. 2. A. (151.)  
Genutzmittel siehe Arzneimittel u. Genussmittel; Tabak Abt. VI.  
Geographie s. Abt. IV.  
— Math. G. s. Astronomie u. Erdkunde Abt. IV.  
Geologie. Allgemeine. V. Geh. Bergr. Prof. Dr. Fr. Frech. 6 Bde. (Bd. 207/211 u. Bd. 61.) I.: Vulkane einst und jetzt. 3. Aufl. M. Titelbild u. 78 Abb. II.: Gebirgsbau und Erdbeben. 3., wes. erw. Aufl. M. Titelbild u. 57 Abb. III.: Die Arbeit des fließenden Wassers. 3. Aufl. M. 56 Abb. IV.: Die Bodenbildung. Mittelgebirgsformen u. Arbeit des Ozeans. 3., wes. erw. Aufl. Mit 1 Titelbild u. 68 Abb. V.: Steinkohle, Wästen u. Klima der Vorzeit. 3. Aufl. Mit 39 Abb. VI.: Gletscher einst u. jetzt. 3. Aufl. Mit 46 Abb. im Text.  
— s. a. Kohlen, Salzlagerstätten. Abt. VI.

Geometrie. Analyt. G. d. Ebene z. Selbstunterricht. Von Prof. B. Crang. 2. Aufl. Mit 55 Fig. (Bd. 504.)  
— Geometr. Zeichen. Von Zeichenlehrer A. Schubeisth. (Bd. 568.)  
— s. a. Mathematik.  
Geomorphologie s. Allgem. Erdkunde.  
Geschlechtskrankheiten. Die, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Befämpfung u. Verhütung. Für Gebildete aller Stände bearb. v. Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 4. A. Mit 4 Abb. u. 1 mehrfarb. Taf. (251.)  
Geschlechtsunterschiede s. Fortpflanzung.  
Gesundheitslehre. Von Obermed.-Rat Prof. Dr. M. v. Gruber. 4. Aufl. Mit 26 Abbildungen. (Bd. 1.)  
— G. für Frauen. Von Dir. Prof. Dr. A. Vaisch. 2. Aufl. M. 11 Abb. (538.)  
— s. a. Abwehrkräfte, Bakterien, Leibesüb.  
Graph. Darstellung. Die. V. Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 2. Aufl. Mit 139 Figuren. (Bd. 437.)  
Haushalt siehe Bakterien, Chemie, Desinfektion, Naturwissenschaften, Physik.  
Haustiere. Die Stammesgeschichte unserer S. Von Prof. Dr. C. Keller. 2. Aufl. Mit 29 Figuren. (Bd. 252.)  
— s. a. Kleintierzucht, Tierzucht. Abt. VI.  
Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. S. Kölin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)  
Hygiene s. Schulhygiene, Stimme.  
Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömmner. 3. Aufl. (Bd. 199.)  
Immunitätslehre s. Abwehrkräfte d. Körper.  
Infinitesimalrechnung. Einführung in die F. Von Prof. Dr. G. Nowalewski. 3. Aufl. Mit 19 Fig. (Bd. 197.)  
Integralrechnung mit Aufgabensammlung. F. Studienrat Dr. M. Bindow. 2. Aufl. Mit Fig. (Bd. 673.)  
Kalender, Der. Von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. 2. Aufl. (Bd. 69.)  
Kälte, Die. Wesen, Erzeug. u. Berwert. Von Dr. S. Alt. 45 Abb. (Bd. 311.)  
Kinematographie s. Abt. VI.  
Konservierung siehe Desinfektion.  
Korallen u. and. Gesteinbild. Tiere. V. Prof. Dr. W. Han. Mit 45 Abb. (Bd. 231.)  
Kosmetik. Ein kurzer Abriss der ärztlichen Verschönerungskunde. Von Dr. F. Sander. Mit 10 Abb. im Text. (Bd. 489.)  
Lebewesen. Die Beziehungen der Tiere und Pflanzen zueinander. Von Prof. Dr. R. Kraevelin. 2. Aufl. I. Der Tiere zueinander. M. 64 Abb. II. Der Pflanzen zueinander u. zu d. Tieren. Mit 68 Abb. (Bd. 426/427.)  
— s. a. Biologie, Organismen, Schädlinge.  
Leib und Seele. Von Dr. phil. et med. G. Sommer. (Bd. 702.)  
Leibesübungen. Die, und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. R. Bander. 4. Aufl. M. 20 Abb. (13.)  
— s. auch Turnen.

**Licht, Das, u. d. Farben.** Einführung in die Optik. Von Prof. Dr. S. Graeb. 4. Aufl. Mit 100 Abb. (Bd. 17.)  
**Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Neun Vorträge aus d. Gebiete d. Experimentalchemie. V. Geh. Reg.-Rat Dr. R. V. Lochmann. 4. Aufl. M. 115 Abb. (Bd. 5.)  
**Luftstickstoff, D., u. f. Verwertung.** V. Prof. Dr. R. Kaiser. 2. A. M. 13 Abb. (313.)  
**Mäße und Messen.** Von Dr. W. B. Jod. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)  
**Materie, Das Wesen d. M.** V. Prof. Dr. G. Mie. I. Moleküle und Atome. 4. A. Mit 25 Abb. II. Weltäther und Materie. 4. Aufl. Mit Fig. (Bd. 58/59.)  
**Mathematik.** Einführung in die Mathematik. Von Oberlehrer W. Mendelssohn. Mit 42 Fig. (Bd. 503.)  
 — **Math. Formelsammlung.** Ein Wiederholungsbuch der Elementarmathematik. Von Prof. Dr. S. Jafobi. (Bd. 567.)  
 — **Naturwissensch. u. M. i. Klass. Altertum.** Von Prof. Dr. Joh. S. Heiberg. Mit 2 Fig. (Bd. 370.)  
 — **Praktische M.** Von Prof. Dr. R. Neuendorff. I. Graphische Darstellungen. Verkürztes Rechnen. Das Rechnen mit Tabellen. Mechanische Rechenhilfsmittel. Kaufmännisches Rechnen i. tägl. Leben. Wahrscheinlichkeitsrechnung. 2., verb. A. M. 29 Fig. i. T. u. 1 Taf. II. Geom. Rechnen. Projektionsl. Flächenmessung. Körpermessung. M. 133 Fig. (341, 526.)  
 — **Mathemat. Spiele.** V. Dr. W. Ahrens. 3. Aufl. M. Titelb. u. 77 Fig. (Bd. 170.)  
 — **f. a. Arithmetik, Differentialrechnung, Geometrie, Infinitesimalrechnung, Integralrechnung, Perspektive, Planimetrie, Projektionslehre, Trigonometrie, Vektorrechnung, Wahrscheinlichkeitsrechnung.**  
**Mechanik.** Von Prof. Dr. Samel. 3 Bde. I. Grundbegriffe der M. II. M. d. festen Körper. III. M. d. flüss. u. luftförm. Körper. (Bd. 684/686.)  
 — **Aufgaben aus d. techn. Mechanik für den Schul- u. Selbstunterricht.** V. Prof. N. Schmick. I. Bewegungs- u. Statik. 156 Aufg. u. Lösl. II. Dynamik. 140 Aufg. u. Lösl. m. zahlr. Fig. i. T. (558/559.)  
 — siehe auch Statik.  
**Meer, Das M., f. Erforsch. u. f. Leben.** Von Prof. Dr. D. J. A. N. 3. A. M. 40 Fig. (Bd. 30.)  
**Mensch u. Erde.** Skizzen v. d. Wechselbezieh. zwischen beiden. Von Geh. Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl. (Bd. 31.)  
 — **Die Rassen der Menschen.** Von Prof. Dr. E. Fischer. (Bd. 624.)  
 — **f. Eiszeit, Entwicklungs-gesch. Urzeit.**  
**Natur u. Mensch** siehe Natur.  
**Menschl. Körper.** Bau u. Tätigkeit d. menschl. K. Einführ. i. d. Physiol. d. M. V. Prof. Dr. S. Sachs. 4. Aufl. M. 34 Abb. (32.)  
 — **f. auch Anatomie, Arbeitsleistungen, Auge, Blut, Fortpflanzg., Gehir., Herz, Nervensystem, Physiol., Sinne, Verbill.**

**Mikroskop, Das.** V. Prof. Dr. W. Schief-fer. 2. Aufl. Mit 99 Abb. (Bd. 35.)  
**Moleküle f. Materie.**  
**Mond, Der.** Von Prof. Dr. J. Franz. 2. Aufl. Mit 34 Abb. (Bd. 90.)  
**Nahrungsmittel f. Ernährung u. N.**  
**Natur u. Mensch.** V. Direkt. Prof. Dr. M. G. Schmidt. Mit 19 Abb. (Bd. 458.)  
**Naturlehre.** Die Grundbegriffe der modernen N. Einführung in die Physik. Von Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 4. Aufl. Mit 71 Fig. (Bd. 40.)  
**Naturphilosophie, Die mod.** V. Privatdoz. Dr. F. M. Verwehen. 2. A. (Bd. 491.)  
**Naturwissenschaft. Religion u. N. in Kampf u. Frieden.** Ein geschichtl. Rückblick. V. Barrer Dr. A. Piannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)  
 — **N. und Technik.** Am tausenden Wech-stuhl d. Zeit. Übersicht üb. d. Wirkungen d. Naturw. u. Technik a. d. ges. Kultur-leben. V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Saunhardt. 3. Aufl. M. 3 Abb. (23.)  
 — **N. u. Math. i. klass. Altert.** V. Prof. Dr. F. L. Heiberg. 2 Fig. (Bd. 370.)  
**Nerven.** Vom Nervensystem, sein. Bau u. sein. Bedeutung für Leib u. Seele im ge-sund. u. krank. Zustande. V. Prof. Dr. R. Bander. 3. Aufl. M. 27 Abb. (Bd. 48.)  
 — siehe auch Anatomie.  
**Optik.** Die opt. Instrumente. Lupe, Mi-kroskop, Fernrohr, photogr. Objektiv u. ihnen verwandte Instr. V. Prof. Dr. M. v. Rohr. 3. Aufl. M. 89 Abb. (88.)  
 — **f. a. Auge, Brille, Kinemat., Licht u. Farbe, Mikrosk., Spektroskopie, Strahlen.**  
**Organismen. D. Welt d. D. In Entwickl. und Zusammenhang dargestellt.** Von Oberstudienrat Prof. Dr. K. Lambert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)  
 — siehe auch Lebewesen.  
**Paläozoologie** siehe Tiere der Vorwelt.  
**Perspektive, Die.** Grundzüge d. P. nebst An-wendung. V. Prof. Dr. K. Dohleman u. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)  
**Pflanzen.** Die fleischfress. Pfl. V. Prof. Dr. A. Wagner. Mit 82 Abb. (Bd. 344.)  
 — **Unf. Blumen u. Pfl. i. Garten.** V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 69 Abb. (Bd. 360.)  
 — **Unf. Blumen u. Pfl. i. Zimmer.** V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)  
 — **f. auch Botanik, Garten, Lebewesen, Pilze, Schädlinge.**  
**Pflanzenphysiologie.** V. Prof. Dr. S. Mo-lich. Mit 63 Fig. (Bd. 569.)  
**Photochemie.** Von Prof. Dr. G. Küm-mell. 2. Aufl. Mit 23 Abb. i. Text u. a. 1 Taf. (Bd. 227.)  
**Photographie f. Abt. VI.**  
**Physik.** Werdegang d. mod. Ph. V. Oberl. Dr. S. Keller. 2. Aufl. M. Fig. (343.)  
 — **Experimentalphysik, Gleichgewicht u. Bewegung.** Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börnstein. M. 90 Abb. (371.)

- Physik.** Ph. i. Rüche u. Haus. B. Studienr. S. Speittkamp. M. 51 Abb. (Bd. 478.)  
 — Große Physik. Von Prof. Dr. F. A. Schulze. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (324.)  
 — I. auch Energie, Naturlehre, Optik, Relativitätstheorie, Wärme; ebenso Elektrotechnik Abt. VI.
- Physiologie.** Ph. d. Menschen. B. Privatdoz. Dr. A. Lipichütz. 4 Bde. I: Allgem. Physiologie. II: Physiologie d. Stoffwechsels. III: Ph. d. Atmung, d. Kreislaufs u. d. Ausscheidung. IV: Ph. der Bewegungen und der Empfindungen. (Bd. 527—530.)  
 — siehe auch Arbeitsleistungen, Menschl. Körper, Pflanzenphysiologie.
- Pilze.** Die. Von Dr. A. Eichinger. Mit 1. a. Batterien. 164 Abb. (Bd. 334.)
- Planeten.** Die. Von Prof. Dr. B. Peter. 2. Aufl. Von Dr. S. Raumann. Mit Figuren. (Bd. 240.)
- Planimetrie z. Selbstunterricht.** B. Prof. B. Franke. 2. Aufl. M. 94 Fig. (340.)
- Praktische Mathematik f. Mathematik.**
- Projektionslehre.** In kurzer leichtfaßlicher Darstellung f. Selbstunterr. u. Schulgebr. Von Reichel. U. Schudeis. Mit 208 Fig. im Text. (Bd. 564.)
- Radium.** Das, u. d. Radioaktivität. B. Dr. M. Centnerzwer. 2. Aufl. M. 33 Abb. Rassen f. Mensch. (Bd. 405.)
- Rechenmaschinen.** Die, und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. R. Lenz. Mit 43 Abb. (Bd. 490.)
- Relativitätstheorie.** Einführung in die. M. 16 Fig. B. Dr. W. Bloch. (Bd. 618.)
- Röntgenstrahlen.** D. A. u. ihre Anwendg. B. Dr. med. G. Buch. M. 85 Abb. i. T. u. auf 4 Tafeln. (Bd. 556.)
- Sänglingspflege.** Von Dr. E. Kobrak. Mit 20 Abb. (Bd. 154.)
- Schachspiel.** Das, und seine strategischen Prinzipien. B. Dr. M. Lange. 3. Aufl. Mit 2 Bildn., 1 Schachbrettafel u. 43 Diagrammen. (Bd. 281.)  
 — Die Hauptvertreter der Schachspielkunst u. d. Eigenart ihrer Spielführung. Von Dr. M. Lange. (Bd. 531.)
- Schädlinge.** Die, im Tier- u. Pflanzenreich u. i. Bekämpf. B. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. G. Stein. 3. A. M. 36 Fig. (18.)
- Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Burperstein. 3. Aufl. Mit 43 Fig. (Bd. 96.)
- Sexualbiologie f. Fortpflanzung, Pflanzen.**
- Sexualethik.** B. Prof. Dr. S. E. Timpling. (Bd. 592.)
- Sinne d. Mensch., D. Sinnesorgane u. Sinnesempfindungen.** B. Hofrat Prof. Dr. F. Kreibitz. 3. Aufl. M. 30 Abb. (27.)
- Sonne.** Die. Von Dr. A. Krause. Mit 64 Abb. (Bd. 357.)
- Spektroskopie.** Von Dr. L. Grebe. 2. Aufl. Mit Abbild. (Bd. 284.)
- Spiel** siehe Mathem. Spiele, Schachspiel.
- Sprache.** Die menschliche Sprache. (Ihre Entwicklung beim Kinde, ihre Gebrechen und deren Heilung.) Von Lehrer R. Nickel. (Bd. 586.)  
 — siehe auch Rhetorik, Sprache Abt. III.
- Statik.** Mit Einschluß der Festigkeitslehre. B. Baugewerkschuldirektor Reg.-Baum. A. Schau. Mit 149 Fig. i. T. (Bd. 497.)  
 — siehe auch Mechanik.
- Sterilisation** siehe Desinfektion.
- Stickstoff** f. Luftstickstoff.
- Stimme.** Die menschliche St. und ihre Hygiene. Von Geh. Med.-Rat Prof. Dr. B. S. Gerber. 3., verb. Aufl. Mit 21 Abb. (Bd. 136.)
- Strahlen.** Sichtbare u. unsicht. B. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börnstein u. Prof. Dr. W. Markwald. 3. Aufl. v. Prof. Dr. E. Regener. M. zahlr. Abb. (Bd. 64.)
- Suggestion.** Hypnotismus und Suggestion. B. Dr. E. Trömmner. 3. Aufl. (Bd. 199.)
- Süßwasser-Plankton.** Das. B. Prof. Dr. O. Zacharias. 2. A. 57 Abb. (Bd. 156.)
- Tabak.** Der. Von Jak. Wolf. 2. Aufl. Mit 17 Abb. i. T. (Bd. 416.)
- Thermodynamik** f. Abt. VI.
- Tiere.** I. der Formwelt. Von Prof. Dr. D. Abel. Mit 31 Abb. (Bd. 399.)  
 — Die Fortpflanzung der T. B. Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
- Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie. Von Privatdozent Dr. F. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)  
 — Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Prof. Dr. O. Maas. Mit 11 Karten und Abb. (Bd. 139.)  
 — Zweigeltast der Gesichtser in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. Fr. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)  
 — f. auch Aquarium, Bakterien, Bienen, Haustiere, Korallen, Lebewesen, Schädlinge, Urtiere, Vogelleben, Vogelzug, Wirbeltiere.
- Tierzucht** siehe Abt. VI: Kleintierzucht, Tierzüchtung.
- Trigonometrie.** Ebene, z. Selbstunterr. B. Studienr. B. Franke. 2. A. M. 50 Fig. (Bd. 431.)  
 — Sphärische Tr. B. Studienr. B. Franke. (Bd. 605.)
- Tuberkulose.** Die, Wesen, Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 3. Aufl. M. 1 Taf. u. 8 Fig. (Bd. 47.)
- Turnen.** Von Oberl. F. Eckardt. Mit 1 Bildnis Zahn. (Bd. 583.)  
 — f. auch Leibesübungen, Anatomie d. Menschen Bd. VI.
- Urtiere.** Die. Einführung i. d. Wissenschaft vom Leben. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. 2. A. M. 44 Abb. (Bd. 160.)

**Urzeit, Der Mensch d. U.** Vier Vorlesung. aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Seilhorn. 3. Aufl. Mit 47 Abb. (Bd. 62.)  
**Bestorrenrechnung, Einführung in die V. B.** Prof. Dr. F. Jung. (Bd. 668.)  
**Verbildungen, Körperliche, im Kindesalter u. ihre Verhütung.** Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)  
**Vererbung, Exp. Abstammungs- u. B.-Lehre.** Von Prof. Dr. E. Lehmann. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 379.)  
 — **Geistige Veranlagung u. B. B. Dr. phil. et med. G. Sommer.** 2. Aufl. (512.)  
**Vogelleben, Deutsches. Zugleich als Exkursionsbuch für Vogelfreunde.** V. Prof. Dr. A. Voigt. 2. Aufl. (Bd. 221.)  
**Vogelzug und Vogelshuh.** Von Dr. V. R. Schardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)  
**Wahrscheinlichkeitsrechnung, Einführ. in die.** Von Prof. Dr. R. Cuyvan-tisch. (Bd. 580.)  
**Wald, Der dtische.** V. Prof. Dr. H. Haus-rath. 2. Aufl. M. Bilderanb. u. 2. Karten. — siehe auch Holz Abt. VI. (Bd. 153.)  
**Wärme, Die Lehre v. d. B. B. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börnstein.** Mit 166. 2. Aufl. v. Prof. Dr. A. Wigand. (172.)  
 — **s. a. Luft, Wärmekraftmasch., Wärmelehre, techn. Thermodynamik** Abt. VI.  
**Wasser, Das.** Von Geh. Reg.-Rat Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)

**Weidwerk, D. dtische.** V. Forststr. G. Febr. v. Nordenlicht. M. Titels. (Bd. 436.)  
**Weltall, Der Bau des.** Von Prof. Dr. F. Scheiner. 4. Aufl. 26 Fig. (Bd. 24.)  
**Welttäter s. Materie.**  
**Weltbild, Das astronomische.** Im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. S. Oppen-heim. 2. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 110.)  
 — siehe auch **Astronomie.**  
**Weltentstehung, Entstehung d. B. u. d. Erde nach Sage u. Wissenschaft.** V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. 3. Aufl. (Bd. 223.)  
**Weltuntergang, Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft.** V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)  
**Wetter, Unier B. Einführ. i. d. Klimatol. Deutschl.** V. Dr. R. Hennig. 2. Aufl. Mit 14 Abb. (Bd. 349.)  
 — **Einführung in die Wetterkunde.** Von Prof. Dr. L. Weber. 3. Aufl. Mit 28 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 55.)  
**Wirbeltiere, Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der B.** Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)  
**Zahnheilkunde** siehe **Gebiß.**  
**Zellen- und Gewebelehre** siehe **Anatomie des Menschen, Biologie.**  
**Zoologie s. Abstammungs-, Aquarium, Bienen, Biologie, Schädlinge, Tiere, Urtiere, Vogelleben, Vogelzug, Weidwerk, Wirbeltiere.**

## VI. Recht, Wirtschaft und Technik.

**Agrikulturchemie.** Von Dr. B. Prieh. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)  
**Angestellte** siehe **Kaufmännische A.**  
**Antike Wirtschaftsgeschichte.** V. Briv.-Doz. Dr. O. Neurath. 2., umgearb. A. (258.)  
 — siehe auch **Antikes Leben** Abt. IV.  
**Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung.** V. Geh. Hofrat Prof. Dr. O. v. Zwie-bined-Südenhorst. 2. Aufl. (78.)  
**Arbeitsleistungen des Menschen, Die.** Einführ. in d. Arbeitsphysiologie. V. Prof. Dr. S. Voruttan. M. 14 Fig. (Bd. 539.)  
 — **Berufswahl, Begabung u. A. in ihren gegenseitigen Beziehungen.** Von B. J. Ruttman. Mit 7 Abb. (Bd. 522.)  
**Arzneimittel und Genußmittel.** Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)  
**Arzt, Der. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart.** Von Dr. med. M. Fürst. 2. Aufl. (Bd. 265.)  
**Automobil, Das. Eine Einf. in d. Bau d. heut. Personen-Kraftwagens.** V. Ob.-Ing. K. Blau. 3., überarb. Aufl. M. 98 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 166.)  
**Baulunde s. Eisenbetonbau.**  
**Baufunkt** siehe **Abt. III.**  
**Beleuchtungswesen, Das moderne.** Von Ing. Dr. S. Lux. M. 54 Abb. (Bd. 433.)  
**Bergbau, Von Bergassessor F. B. Bed-bting.** (Bd. 467.)

**Bewegungslehre s. Mechanik, Aufg. a. d. M.**  
**Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)  
**Bilanz i. Buchhaltung u. B.**  
**Blumen, Unf. Bl. u. Pfl. i. Garten.** Von Prof. Dr. M. Dammer. M. 69 Abb. (360.)  
 — **Unf. Bl. u. Pfl. i. Zimmer.** V. Prof. Dr. A. Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)  
 — siehe auch **Garten.**  
**Brauerei s. Bierbrauerei.**  
**Buch, Wie ein B. entsteht.** V. Prof. A. B. Unger. 4. Aufl. M. 7 Taf. u. 26 Abb. im Text. (Bd. 175.)  
 — **s. a. Schrift- u. Buchwesen** Abt. IV.  
**Buchhaltung u. Bilanz, Kaufm., und ihre Beziehungen z. buchhalter. Organisation, Kontrolle u. Statistik.** V. Dr. P. Gerst-ner. 2. Aufl. M. 4 schemat. Darst. (507.)  
**Chemie in Küche und Haus.** Von Dr. F. Klein. 4. Aufl. (Bd. 76.)  
 — **s. auch Agrikulturchemie, Elektrochemie, Farben, Sprengstoffe, Technik; ierner Chemie** Abt. V.  
**Dampfessel** siehe **Feuerungsanlagen.**  
**Dampfmaschine, Die.** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2 Bde. I: Wirkungsweise des Dampfes im Kessel und in der Maschine. 4. Aufl. M. 37 Abb. (Bd. 393.)  
 II: Ihre Gestaltung und Verwendung. 2. Aufl. Mit 105 Abb. (Bd. 394.)

- Desinfektion, Sterilisation und Konservierung.** Von Reg.- und Med.-Rat Dr. D. Solbrig. Mit 20 Abb. (Bd. 401.)  
**Deutsch f. Handel, Gewerbe, Landwirtschaft, Zivilprozessrecht; Reich Abt. IV.**  
**Drähte u. Kabel, ihre Anfertigung u. Anwend.** i. d. Elektrotech. B. Tel.-Inst. S. Brück. 2. Aufl. M. 43 Abb. (Bd. 285.)  
**Dynamik f. Mechanik, Aufg. a. b. M. 2. Bd.,** ebenso Thermodynamik.  
**Eisenbahnenwesen, Das.** Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. a. D. Dr.-Ing. E. Bieder mann. 3. Aufl. M. zahlr. Abb. (144.)  
**Eisenbetonbau, Der.** B. Dipl.-Ing. E. Saimovici. 2. Aufl. Mit 82 Abb. i. T. sowie 6 Rechnungsbeisp. (Bd. 275.)  
**Eisenhüttenwesen, Das.** Von Geh. Berg-Prof. Dr. S. Wedding. 5. Aufl. v. Berg-Prof. F. W. Wedding. M. 22 Abb. (20.)  
**Elektrische Kraftübertragung, Die.** B. Ing. P. Köhn. Mit 137 Abb. (Bd. 424.)  
**Elektrochemie.** Von Prof. Dr. R. Arndt. Mit 37 Abb. (Bd. 234.)  
**Elektrotechnik, Grundlagen d. E. B. Obering. A. Roth. 2. Aufl. M. 74 Abb. (391.)**  
— f. auch Drähte u. Kabel, Telegraphie.  
**Erbrecht, Testamentserrichtung und G.** Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)  
**Ernährung u. Nahrungsmittel f. Abt. V.** Farben u. Farbstoffe. F. Erzeug. u. Verwend. B. Dr. M. Bart. 31 Abb. (Bd. 488.)  
— siehe auch Licht Abt. V.  
**Kernsprachtechnik f. Telegraphie.**  
**Feuerungsanlagen, Industr. u. Dampfkessel.** B. Ing. F. E. Maher. 88 Abb. (Bd. 348.)  
— siehe auch Geldwesen.  
**Funkentelegraphie siehe Telegraphie.**  
**Fürsorge f. Kinderf., Kriegsbeschädigtenf. Garten, Der Kleingarten.** B. Redakt. F. o. Schneider. 2. Aufl. M. 80 Abb. (498.)  
— **Der Hausgarten.** Von Gartenarchitekt W. Schubert. Mit Abb. (Bd. 502.)  
— siehe auch Blumen.  
**Gartenkunst, Gesch. d. G. B. Baurat Dr.-Ing. Chr. Rand. M. 41 Abb. (Bd. 274.)**  
**Gartenstadtbewegung, Die.** Von Landeswohnungsinspektor Dr. S. Kampffmeyer. 2. Aufl. M. 43 Abb. (Bd. 259.)  
**Gefängniswesen f. Verbrechen.**  
**Geldwesen, Zahlungsverkehr u. Vermögensverwalt.** Von G. Mater. 2. Aufl. (398.)  
— f. a. Finanzwissensch.; Münze Abt. IV.  
**Genußmittel siehe Arzneimittel und Genußmittel, Tabak.**  
**Gewerblicher Rechtschutz i. Deutschland.** B. Patentanw. W. Tolksdorf. (Bd. 138.)  
— siehe auch Urheberrecht.  
**Graphische Darstell., Die.** B. Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 2. Aufl. M. 139 Abb. (437.)  
**Handel, Geschichte d. Welth.** Von Realgymnasialdirektor Prof. Dr. M. G. Schmidt. 3. Aufl. (Bd. 118.)  
**Handel, Geschichte d. deutsch. Handels seit d. Ausgang des Mittelalters.** Von Dir. Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 16 Tabellen. (Bd. 237.)  
**Handfeuerwaffen, Die. Entwickl. u. Techn.** B. Major R. Weig. 69 Abb. (Bd. 364.)  
**Handwerk, D. Deutsche, in f. Kulturgeschichte.** Entwickl. B. Geh. Schult. Dr. E. Otto. 4. Aufl. M. 33 Abb. auf 12 Taf. (Bd. 14.)  
**Haushalt f. Chemie, Desinfekt., Physik; Nahrungsm. Abt. IV; Batter. Abt. V.**  
**Häuserbau siehe Baulunde, Befeuchtungswesen, Heizung u. Lüftung, Wohnungswo.**  
**Hebezeuge, Hilfsmittel zum Heben schwerer, flüssiger und gasf. Körper.** Von Geh. Bergat Prof. R. Vater. 2. Aufl. M. 67 Abb. (Bd. 196.)  
**Heizung und Lüftung.** Von Ingenieur F. E. Maher. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)  
**Holz, Das S., seine Bearbeitung u. seine Verwendung.** B. Insp. F. Großmann. Mit 39 Originalabb. i. T. (Bd. 473.)  
**Hotelwesen, Das.** Von P. Damm-Étienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)  
**Hüttenwesen siehe Eisenhüttenwesen.**  
**Immunitätslehre f. Abwehrkräfte Abt. V.**  
**Ingenieurtechnik, Schöpfungen d. F. der Neuzeit.** Von Geh. Regierungsrat M. Geitel. Mit 32 Abb. (Bd. 28.)  
**Instrumente siehe Optische I.**  
**Kabel f. Drähte und R.**  
**Kälte, Die, ihr Wesen, i. Erzeug. u. Verwertg.** B. Dr. S. Alt. M. 45 Abb. (311.)  
**Kaufmann, Das Recht des R. Ein Leitfa- den f. Kaufleute, Studier. u. Juristen.** B. Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 409.)  
**Kaufmännische Angestellte, D. Recht d. f. A. B. Justiz. Dr. M. Strauß. (361.)**  
**Kinderfürsorge.** Von Prof. Dr. Chr. F. Klumker. (Bd. 620.)  
**Kinematographie.** Von Dr. S. Behmann. 2. Aufl. B. Dr. W. Merté. Mit Abb. (Bd. 358.)  
**Klein- u. Straßenbahnen, Die.** B. Obering. a. D. Oberlehrer A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)  
**Kleintierzucht, Die.** Von Redakt. F. o. Schneider. M. 59 Fig. i. T. u. a. 6 Taf. — siehe auch Tierzüchtung. [(Bd. 604.)  
**Kohlen, Unser.** B. Bergass. B. Kukul. Mit 60 Abb. i. Text u. 3 Taf. (Bd. 396.)  
**Kolonialbotanik.** Von Prof. Dr. F. Töbeler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)  
**Kolonisation, Innere.** Von A. Brenning. (Bd. 261.)  
**Konservierung siehe Desinfektion.**  
**Konsumgenossenschaft, Die.** Von Prof. Dr. F. Staubinger. (Bd. 222.)  
— f. auch Mittelstandsbewegung, Wirtschaftliche Organisationen.  
**Kraftanlagen siehe Dampfmaschine, Feuerungsanlagen und Dampfkessel, Wärme- kraftmaschine, Wasserkraftmaschine.**

- Kraftübertragung. Die elektr. V. Ing. P. Köhn. 2. Aufl. M. 1906. (Bd. 424.)
- Krieg. Kulturgeschichte d. A. V. Prof. Dr. R. Weule, Geh. Hofrat Prof. Dr. E. Bette, Prof. Dr. B. Schmeidler, Prof. Dr. A. Doren, Prof. D. B. Gerre. (Bd. 561.)
- Kriegsbeschädigtenfürsorge. In Verbindung mit Med.-Nat. Oberstabsarzt u. Ehef. Dr. Rebentisch, Gewerbeschuldir. S. Bad, Direktor bez. Städt. Arbeitsamts Dr. P. Schlotter herg. v. Prof. Dr. E. Kraus, Leit. d. Städt. Fürsorgeamts für Kriegshinterblieb. in Frankfurt a. M. 2. Aufl. (523.)
- Kriegsschiffe. Inse. Ihre Entstehg. u. Verwendg. V. Geh. Marinebaur. a. D. E. Krieger. 2. Aufl. v. Marinebaur. Fr. Schürer. Mit 62 Abb. (389.)
- Kriminalistik, Moderne. Von Amtsrichter Dr. A. Sellwig. M. 18 Abb. (Bd. 476.)
- f. a. Verbrechen, Verbrecher.
- Küche siehe Chemie in Küche und Haus.
- Landwirtschaft, Die deutsche. V. Dr. B. Claassen. 2. Aufl. Mit 15 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 215.)
- f. auch Agrarkulturchemie, Kleintierzucht, Luftstickstoff, Tierzüchtung; Haus-, Tierkunde Abt. V.
- Landwirtschaftl. Maschinenkunde. V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. G. Fischer. 2. Aufl. Mit 64 Abbildungen. (Bd. 316.)
- Luftfahrt, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. R. Nimführ. 3. Aufl. v. Dr. Fr. Guth. M. 60 Abb. (Bd. 300.)
- Luftstickstoff, Der, u. f. Verw. V. Prof. Dr. R. Kaiser. 2. Aufl. M. 13 Abb. (313.)
- Lüftung, Heizung und L. Von Ingenieur F. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Marr, Karl. Versuch u. Einführung. V. Prof. Dr. R. Wilbrandt. 2. Aufl. (621.)
- f. auch Sozialismus.
- Maschinen f. Dampfmaschine, Sebezuge. Landwirtschaftl. Maschinenkunde, Wärmekraftmasch., Wasserkraftmasch.
- Maschinenelemente. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. M. 175 Abb. (Bd. 301.)
- Maße und Messen. Von Dr. W. Blod. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)
- Mechanik. V. Prof. Dr. G. Hamel. 3 Bde. I. Grundbegriffe d. M. II. M. der festen Körper. III. M. d. Flüss. u. luftförm. Körper. (Bd. 684/686.)
- Aufgaben aus der technischen M. f. d. Schul- u. Selbstunterricht. V. Prof. M. Schmitt. M. zahlr. Fig. I. Bewegungsl., Statik. 156 Aufg. u. Lösungen. II. Dynamik. 140 A. u. L. (Bd. 558/559.)
- Messen siehe Maße und Messen.
- Miete, Die, nach d. BGB. Ein Handb. über f. Juristen, Mieter u. Vermieter. V. Justizrat Dr. M. Strauß. (194.)
- Mikroskop, Das. V. Prof. Dr. W. Scheffler. 2. Aufl. M. 99 Abb. (Bd. 35.)
- Milch, Die, und ihre Produkte. Von Dr. A. Reig. Mit 16 Abb. (Bd. 362.)
- Mittelhandsbewegung, Die moderne. Von Dr. S. Müffelmann. (Bd. 417.)
- siehe Konsumgenoss., Wirtschaftl. Org. Nahrungsmittel f. Abt. V.
- Naturwissenschaften u. Technik. Am lauf. Best. d. Zeit, überf. üb. d. Wirgen. d. Entw. d. N. u. L. a. d. gr. Kulturleb. V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 3 Abb. (Bd. 23.)
- Nautik. V. Dir. Dr. F. Müller. 2. Aufl. Mit vielen Abb. (Bd. 255.)
- Optischen Instrumente, Die. Lupe, Mikroskop, Fernrohr, photogr. Objektiv u. ihnen verw. Instr. Von Prof. Dr. R. v. Rohr. 3. Aufl. M. 89 Abb. (Bd. 88.)
- Organisationen, Die wirtschaftlichen. Von Prof. Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)
- Östmar, Die. Eine Einführ. i. d. Probleme ihrer Wirtschaftsges. Org. von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)
- Patente u. Patentrecht f. Gewerbl. Rechtsch. Perpetuum mobile, Das. V. Dr. Fr. Schaf. Mit 38 Abb. (Bd. 462.)
- Photochemie. Von Prof. Dr. G. Kämmerell. 2. Aufl. Mit 23 Abb. i. Text u. auf 1 Tafel. (Bd. 227.)
- Photographie, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen u. i. Anwendung. V. Dr. O. Prelinger. 2. Aufl. Mit Abb. (414.)
- Die künstlerische Ph. Ihre Entwicklung, ihre Probleme, ihre Bedeutung. Von Dr. W. Warstat. 2., verb. Aufl. Mit Bildersam. (Bd. 410.)
- Angewandte Liebhaber-Photographie, ihre Technik und ihr Arbeitsfeld. Von Dr. W. Warstat. Mit Abb. (Bd. 535.)
- Physik in Küche und Haus. Von Prof. Dr. S. Speitkamp. M. 51 Abb. (Bd. 478.)
- siehe auch Physik in Abt. V.
- Pfosten, Das. Von Oberpostdir. D. Sieblist. 2. Aufl. (Bd. 182.)
- Rechenmaschinen, Die, und das Rechenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. R. Lenz. Mit 43 Abb. (Bd. 490.)
- Recht siehe Erbrecht, Gewerbl. Rechtsschutz, Kaufm. Angek., Kriminalistik, Urheberrecht, Verbrechen, Verfassungrecht, Zivilprozedur.
- Rechtsfragen des täglichen Lebens in Familie und Haushalt. Von Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 219.)
- Rechtsprobleme, Moderne. V. Geh. Justizrat Prof. Dr. F. Rohler. 2. Aufl. (Bd. 128.)
- Salzlagerrstätten, Die deutschen. Ihre Vorkommen, ihre Entstehung und die Verwertung ihrer Produkte in Industrie und Landwirtschaft. Von Dr. E. Riemann. Mit 27 Abb. (Bd. 407.)
- siehe auch Geologie Abt. V.
- Schiffbau siehe Kriegsschiffe.
- Schmuck, Die, u. d. Schmucksteinindustr. V. Dr. A. Eppeler. M. 64 Abb. (Bd. 376.)

Soziale Bewegungen u. Theorien b. z. mod.  
Arbeiterbew. V. G. Mater. 6. A. (Bd. 2.)  
— f. a. Arbeiterschutz u. Arbeiterversicher.  
Sozialismus. Gesch. der sozialist. Ideen i.  
19. Jhr. B. Privatdoz. Dr. Fr. Müllers.  
3. A. I. D. ration. Soz. II: Bronthon u. d.  
entwicklungsgeschichtl. Soz. (Bd. 269, 270.)  
— f. auch Marx; Rom, Soz. Kämpfe  
i. alt. R. Abt. IV.  
Spinnerei. Die. Von Dir. Prof. M. Leh-  
mann. Mit 35 Abb. (Bd. 338.)  
Sprengstoffe. Die, ihre Chemie u. Techno-  
logie. V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Vie-  
dermann. 2. Aufl. M. 12 Fig. (286.)  
Staat siehe Abt. IV.  
Statl. Mit Einschluß der Festigkeitslehre.  
Von Reg.-Baum. Baugewerklichdirekt.  
A. Schaub. M. 149 Fig. i. T. (Bd. 497.)  
— siehe auch Mechanik, Aufg. a. b. M. I.  
Statistik. V. Prof. Dr. S. Schott. (442.)  
Strafe und Verbrechen. Geschichte u. Or-  
ganis. d. Gefängniswes. V. Strafanstalts-  
dir. Dr. med. B. Pollig. (Bd. 323.)  
Strahlenbahnen. Die Klein- u. Strahlenb.  
Von Oberingenieur a. D. Ueberlehrer  
A. Liebmann. M. 85 Abb. (Bd. 322.)  
Tabak. Der. Anbau, Handel u. Verarbeitung.  
V. Jac. Wolf. 2., verb. u. ergänzte  
Ausf. Mit 17 Abb. (Bd. 416.)  
Technik. Die chemische. Von Dr. A. Müll-  
ler. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)  
— Einführung in d. T. Von Geh. Reg.-  
Rat Prof. Dr. S. Lorenz. (Bd. 729.)  
Techn. Zeichen i. Zeichen.  
Telegraph. D. Telegraph.- u. Fernsprechw.  
V. Oberpost. D. Sieblist. 2. A. (183.)  
— Telegraphen- und Fernsprechtechnik in  
ihrer Entwicklung. V. Oberpost.-Inspr.  
S. Fried. 2. A. Mit 65 Abb. (Bd. 235.)  
— Die Funkenteleg. V. Telegr.-Inspr. S.  
Furn. 5. Aufl. M. 51 Abb. (Bd. 167.)  
— siehe auch Drähte und Kabel.  
Testamentserrichtung und Erbrecht. Von  
Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)  
Thermodynamik. Praktische. Aufgaben u.  
Beispiele zur technischen Wärmelehre.  
Von Geh. Bergrat Prof. Dr. R. Vater.  
Mit 40 Abb. i. Text u. 3 Taf. (Bd. 596.)  
— siehe auch Wärmelehre.  
Tierzucht. Von Tierzuchtdirektor Dr.  
G. Wiltsdorf. 2. Aufl. M. 23 Abb.  
auf 12 Taf. u. 2. Fig. i. T. (Bd. 369.)  
— siehe auch Kleintierzucht.  
Uhr. Die. Grundlagen u. Technik d. Zeit-  
messg. V. Prof. Dr.-Ing. S. Bod. 2.,  
umgearb. Ausf. Mit 65 Abb. i. T. (216.)  
Urheberrecht. D. Recht a. Schrift- u. Kunstw.  
V. Rechtsanw. Dr. R. Mothes. (435.)  
— siehe auch gewerblich. Rechtsschutz.  
Verbrechen. Strafe und V. Geschichte u. Or-  
ganisation d. Gefängniswesens. V. Straf-  
anst.-Dir. Dr. med. B. Pollig. (Bd. 323.)  
— Moderne Kriminalistik. V. Amtsrichter  
Dr. A. Sellwig. M. 18 Abb. (Bd. 476.)

Verbrecher. Die Psychologie des V. (Krimi-  
nalpsych.) V. Strafanstaltsdir. Dr. med.  
B. Pollig. 2. A. M. 5 Diag. (Bd. 248.)  
— f. a. Handschriftenbeurt. Abt. I.  
Verfassung. Grundz. d. V. d. Deutsch. Reiches.  
V. Geheimrat Prof. Dr. E. Voening.  
5. Aufl. (Bd. 34.)  
Verfassung und Verwaltung der deutschen  
Städte. Von Dr. M. Schmidt. (466.)  
— Deutsch. Verfassung. i. geschichtl. Ent-  
wickl. V. Br. Dr. E. Dührich. 2. A. (Bd. 80.)  
Verkehrsentwicklung i. Deutschl. 1800 bis  
1900 (fortgef. b. z. Gegenw.). V. Prof.  
Dr. W. Bog. 4., verb. Ausf. (Bd. 15.)  
Versicherungswesen. Grundzüge des V.  
(Privatversicher.). Von Prof. Dr. A.  
Manes. 3., verbänd. Ausf. (Bd. 105.)  
Waffenrecht siehe Handfeuerwaffen.  
Wald. Der deutsche. V. Prof. Dr. Haus-  
rath. 2. A. Wiberan. u. 2 Kart. (153.)  
Wärmekraftmaschinen. Die neueren. Von  
Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2. Bde.  
I: Einführung in die Theorie u. d. Bau  
d. Gasmasch. 5. Aufl. M. 41 Abb. (Bd. 21.)  
II: Gaserzeuger, Großgasmash., Dampf-  
u. Gasturb. 4. Aufl. M. 43 Abb. (Bd. 86.)  
— siehe auch Kräfteanlagen.  
Wärmelehre. Einföhr. i. d. techn. (Ther-  
modynamik). Von Geh. Bergrat Prof.  
R. Vater. M. 40 Abb. i. Text. (Bd. 516.)  
— f. auch Thermodynamik.  
Wasser. Das. Von Geh. Reg.-Rat Dr. D.  
Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)  
— f. a. Luft, Wass., Licht, Wärme Abt. V.  
Wasserkraftmaschinen. Die. u. d. Ausnützk.  
d. Wasserkräfte. Von Geh. Reg.-Rat A.  
v. Jhering. 2. A. M. 57 Abb. (Bd. 228.)  
Weidwerk. D. d. h. V. Forstmeister G. Fehr-  
v. Nordenflycht. M. Titelb. (436.)  
Weinbau und Weinbereitung. Von Dr. F.  
Schmitthener. 34 Abb. (Bd. 332.)  
Welthandel siehe Handel.  
Wirtschaftlichen Organisationen. Die. Von  
Prof. Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)  
— f. Konsumgenoss., Mittelstandsbevæg.  
Wirtschaftsgeographie. Von Prof. Dr. F.  
Seidrich. (Bd. 633.)  
Wirtschaftsleben. i. Antike W., Dänmark.  
Wirtschaftsleben. Deutsch. Auf geograph.  
Grundl. gesch. v. Prof. Dr. Chr. Grun-  
der. 4. A. v. Dr. S. Reinlein. (42.)  
— Die Entwicklung des deutschen Wirt-  
schaftslebens i. letzten Jahrh. V. Geh.  
Reg.-Rat Prof. Dr. L. Bohle. 3. A. (57.)  
— Deutschl. Stellung i. d. Weltwirtsch.  
V. Prof. Dr. B. Arndt. 3. A. (Bd. 179.)  
Wohnungswesen. Das. Von Dipl.-Ing.  
Leyser. (Bd. 707.)  
Zeichnen. Techn. Von Prof. Dr. Hork-  
mann. (Bd. 548.)  
Zeitungswesen. V. Dr. S. Diez. 2. Aufl.  
(Bd. 328.)  
Zivilprozeßrecht. Das deutsche. Von Ju-  
stizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)

== Weitere Bände sind in Vorbereitung. ==

Druck von V. G. Teubner in Dresden

# Teubners Kleine Fachwörterbücher

bringen sachliche und wörterläuternde Erklärungen aller wichtigeren Gegenstände und Sachausdrücke der einzelnen Gebiete der Natur- und Geisteswissenschaften. Sie wenden sich an weiteste Kreise und wollen vor allem auch dem Nichtfachmann eine verständnisvolle, befriedigende Lektüre wissenschaftlicher Werke und Zeitschriften ermöglichen und den Zugang zu diesen erleichtern. Dieser Zweck hat Auswahl und Fassung der einzelnen Erklärungen bestimmt: Berücksichtigung alles Wesentlichen, allgemeinverständliche Fassung der Erläuterungen, ausreichende sprachliche Erklärung der Sachausdrücke, wie sie namentlich die immer mehr zurücktretende humanistische Vorbildung erforderlich macht.

Mit größeren rein wissenschaftlichen Nachschlagewerken können die kleinen Fachwörterbücher namentlich hinsichtlich der Vollständigkeit natürlich nicht in Wettbewerb treten, sie verfolgen ja aber auch ganz andere Zwecke, durch die Preis und Umfang bedingt waren. Den allgemeinen Konversationslexika gegenüber bieten sie bei den sich ohnehin mehr und mehr spezialisierenden auch außersachlichen Interessen des Einzelnen Vorteile insofern, als die Verarbeitung den besonderen Bedürfnissen des einzelnen Fachgebietes besser angepasst und leichter auf dem neuesten Stand des Wissens gehalten werden kann, als insbesondere auch die Neu- und Nachbeschaffung der einzelnen abgeschlossenen Gebiete behandelten Bände bedeutend leichter ist, als die einer Gesamt-Enzyklopädie, deren erster Band gewöhnlich schon wieder veraltet ist, wenn der letzte erscheint.

Preis gebunden je ca. M. 2.50 bis M. 5.-

Stets Leertungszuschläge des Verlags und der Buchhandlungen

- \* sind erschienen bzw. werden demnächst erscheinen; die anderen sind in Vorbereitung.
- \*Philosophisches Wörterbuch von Dr. P. Thormeyer.
- \*Psychologisches Wörterbuch von Dr. Frh. Giese.
- Literaturgeschichtliches Wörterbuch von Dr. H. Köhl.
- Kunstgeschichtliches Wörterbuch von Dr. E. Cohn-Wiener.
- \*Musikalisches Wörterbuch von Dr. A. Einstein.
- Wörterbuch des klassischen Altertums von Dr. B. A. Müller.
- \*Physikalisches Wörterbuch von Prof. Dr. G. Berndt.
- Chemisches Wörterbuch von Stadchemiker Dr. Mezger.
- \*Geologisch-mineralogisches Wörterbuch von Dr. J. C. W. Schmidt.
- Geographisches Wörterbuch von Prof. Dr. O. Kende.
- Astronomisches Wörterbuch von Prof. Dr. A. Marcuse.
- \*Zoologisches Wörterbuch von Dr. Th. Knottnerus-Meyer.
- \*Botanisches Wörterbuch von Dr. O. Gerke.
- \*Warenkundliches Wörterbuch von Prof. Dr. M. Pletsch.
- \*Handelswörterbuch von Dr. V. Sittel und Dr. M. Strauß.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

# Die neue Zeit

## Schriften zur Neugestaltung Deutschlands

Die neuen Parteiprogramme mit den letzten der alten Parteien zusammengest. Von Prof. Dr. J. Salomon. Geb. . . . M. 1,50  
Was muß die deutsche Frau von der politischen Lage wissen? Von Prof. Dr. C. Spranger, 3. Auflage. Geb. M. -.80  
Die deutsche Frau und ihre Aufgaben im neuen Volkstaat. Von Dr. Alice Salomon. Geb. . . . M. 1.-  
Wann und wie kann man sozialisieren? Von Dr. M. Trahn. Geb. . . . M. -.80  
Wie steht es um die deutsche Volkswirtschaft? Von Dr. E. Günther. Geb. M. -.80  
Des deutschen Bürgerturnes Schicksalsstunde. Von Dr. E. Eck. Geb. M. 1.-  
Die Landfrage. Von Dr. J. Darmroedter-Helversen. Geb. . . . M. -.80

Die Einheitschule. Von Direktor Dr. A. Buchenau. Geb. . . . M. 1,20  
Trennung von Kirche und Staat, was sie bedeutet und was sie zur Folge hat. Von Geh.-Rat Prof. Dr. D. Mayer. Geb. . . . M. -.80  
Bedeutung des Protestantismus bzw. der evang. Kirche für unser Volksleben. Von Geh. Konfistorialrat Prof. Dr. Baumgarten. Geb. . . . ca. M. -.80  
Wozu noch Religionsunterricht? Ein Einblick in d. Praxis besond. für Eltern u. Laien. Von Oberl. Dr. G. Jähne. Geb. ca. M. -.80  
Die Zukunft des Religionsunterrichts. Moralunterricht. Interkonfessioneller od. konfessioneller Religionsunterricht. Von Oberlehrer Dr. W. Franke. Geb. ca. M. -.80

Preise bei größeren Bezügen (bei Einzelpreis von M. -.80): 25 Expl. je M. -.70, 50 Expl. je M. -.65, 100 Expl. je M. -.60, 250 Expl. je M. -.55, 500 Expl. je M. -.50.  
Bei anderem Einzelpreis entsprechend. — Weitere Hefte in Vorbereitung.

## Das Gymnasium und die neue Zeit

Fürsprachen u. Forderungen für seine Erhaltung u. seine Zukunft. ca. M. 4.-

Das Buch stellt in längeren Darlegungen und kürzeren Äußerungen berufener Fürsprecher aus allen Kreisen und Arbeitsgebieten, vor allem auch von Männern des praktischen Lebens, zusammen, was sich über Bedeutung der humanistischen Bildung und des Gymnasiums für die künftige Gestaltung unseres Volkslebens sagen läßt.

## Altertum und Gegenwart

nach ihren Kulturzusammenhängen in den Hauptepochen und auf den Hauptgebieten. ca. M. 6.-

Stützen von J. Doll · A. Curtius · A. Dopf · E. Goldbeck · W. Goeh · P. Hensel · K. Hoff · W. Jaeger · J. Jørgensen · B. Lichmann · C. o. Lippmann · A. o. Martin · Ed. Meyer · E. Mittels · C. Müller · E. Norden · J. Parfisch · A. Rehm · G. Roethe · W. Schulze · C. Spranger · H. Stadler · M. Wundt · J. Zieh n

Inhalt: I. Einleitung. II. Die Zusammenhänge im allgemeinen. 1. Der Übergang von der Antike zum Mittelalter. 2. Die Antike im Mittelalter und in der Renaissance. 3. Der Neuhumanismus. 4. Das 19. Jahrh. III. Die Zusammenhänge auf d. einzelnen Gebieten. 1. Staat u. Wirtschaft. 2. Recht. 3. Erziehung. 4. Sprachwissenschaft. 5. Geschichte. 6. Literatur. 7. Kunst. 8. Religion. 9. Philosophie u. Weltanschauung. 10. Mathematik. 11. Weltbild u. Ethik. 12. Geographie. 13. Biologie. 14. Autonomie. 15. Chemie. 16. Medizin. 17. Technik. IV. Die Hauptepochen der antiken Kultur u. ihr Verhältnis zum mod. Bildungsideal.

## Geschichte der deutschen Dichtung

Von Dr. Hans Köhl. 2. Aufl. Geb. M. 3.-, Geschenkausgabe M. 4.-

„Mit großem Geschick weiß der Verf. einen Zeitabschnitt, das Wirken einer Persönlichkeit trefflich zu charakterisieren, ein Dichtwerk zu analysieren...“ (Südwestdeutsche Schulbl.)

## Von deutscher Art und Kunst

Eine Deutschland. Herausgegeben von Dr. W. Hoffstaetter.

Mit 32 Tafeln, 2 Karten u. 8 Abb. Geb. M. 4.50

„Schön ist das Werk nicht nur in der musterhaft klaren Zergliederung des Stoffes durch die bewussten Eineldarsteller, sondern auch durch das vielseitige, prächtige Bilderreich des als eine nationale Leistung herausgebrachten Buches.“ (Das größere Deutschland.)

Auf sämtliche Preise Feuerungszuschläge des Verlages und der Buchhandlungen

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

# Leubners Künstlersteinzeichnungen

Wohlfelle farbige Originalwerke erster deutscher Künstler fürs deutsche Haus  
Die Sammlung enthält jetzt über 200 Bilder in den Größen 100×70 cm (M. 7.50), 75×55 cm (M. 6.—), 103×41 cm u. 60×50 cm (M. 5.—), 55×42 cm (M. 4.50), 41×30 cm (M. 3.—)  
Rahmen aus eigener Werkstatt in den Bildern angepaßten Ausführungen äußerst preiswürdig.

## Schattenbilder

**R. W. Diefenbach**

„Per aspera ad astra“

Album, die 34 Teilb. des vollst. Wandstiefes  
fortl. wiederz. (20 1/2×25 cm) M. 15.—  
Teilbilder als Wandstiefe (42×80 cm)  
je M. 5.—, (35×18 cm) je M. 1.25  
letzte auch u. Glas m. Leinw. einfl. erhältlich.

„Göttliche Jugend“

2 Mappen, 1. 2. Aufl., mit je 20 Blatt  
(25 1/2×34 cm) je M. 6.—  
Einzelbilder je M. —.75  
auch unter Glas u. Leinwand einfl. erhältlich

von

**Gerda Luise Schmidt**

(20×15 cm) je M. —.50,

in Holzrähmchen unter Glas je M. 3.50  
in Kettenrähmchen je M. 4.25  
Blumenotalel, Reizenspiel, Der Besuch,  
Der Liebesbrief, Ein Frühlingsstrauch, Die  
Freunde, Der Brief an „Ihn“, Annäherungs-  
versuch, Am Spinett, Beim Wein,  
Ein Märchen, Der Geburtstag.  
Postkartenausgaben siehe unter Leubners  
Künstlerpostkarten.

## Leubners Künstlerpostkarten

Jede Karte 15 Pf., Reihe von 12 Karten in Umschlag M. 1.50, jede Karte unter Glas mit  
schwarzer Einfassung und Schnur M. 1.—, oval M. 1.25. Die mit \* bezeichneten Reihen  
auch in feinen ovalen oder vierseitigen Holzrähmchen (je M. 2.25 bzw. M. 2.50), in Tempo-  
Rahmen (je M. 1.75, bzw. M. 2.—) oder in Kettenrahmen (je M. 2.—).

Leubners Künstlersteinzeichnungen in 12 Reihen. \*Diefenbachs Schattenbilder in  
6 Reihen. Aus dem Kinderleben, 6 Karten nach Bleistiftzeichn. von Hela Peters.  
1. Der gute Bruder. 2. Der böse Bruder. 3. Wo drückt der Schuh? 4. Schmeißeltüchchen.  
5. Püppchen, aufgepufft! 6. Große Wäsche. In Umschlag M. —.80. \*Schattenristika: ten  
von Gerda Luise Schmidt: 1. Reihe: Spiel und Tanz, Fest im Garten, Blumenotalel, Die  
kleine Schäferin, Delauschter Dichter, Kattensänger von Hameln. 2. Reihe: Die Freunde,  
Der Besuch, Im Grünen, Reizenspiel, Ein Frühlingsstrauch, Der Liebesbrief. 3. Reihe: Der  
Brief an „Ihn“, Annäherungsversuch, Am Spinett, Beim Wein, Ein Märchen, Der Ge-  
burtstag. Jede Reihe in Umschlag M. —.80. Denkwürdige Stätten aus Nordfrank-  
reich. 12 Karten nach Original-Eithographien von K. Lohz.

## Rudolf Schäfers Bilder nach der Heiligen Schrift

Der barmherzige Samariter (M. 6.—), Jesus der Kinderfreund (M. 5.—), Das Abendmahl  
(M. 6.—), Hochzeit zu Kana (M. 5.—), Weihnachten (M. 6.—), Die Bergpredigt (M. 5.—)  
(75×55 bzw. 60×50 cm), 6 Blätter in Mappe zum ermäßigten Preise von M. 30.—

Diese 6 Blätter in Format **Biblische Bilder** in Mappe M. 4.—, als  
23×30 unter dem Titel Einzelblatt je M. 1.—  
(Auch als „Kirchliche Gedendblätter“ und als „Glückwunsch- u. Einladungskarten“ erhältlich.)

## Karl Bauers Federzeichnungen

**Führer und Helden im Weltkrieg.** Einzelne Blätter (28×30 cm) M. —.75,  
Liebhaberausgabe M. 1.25, 2 Mappen, enthaltend je 12 Blätter, je . . . M. 4.—

**Charakterköpfe 7. deutschen Geschichte.** Mappe, 32 Bl. (28×36 cm) M. 8.—,  
12 Bl. M. 4.—, Einzelblätter M. —.75. Liebhaberausgabe auf Karton gebildet M. 1.25

**Aus Deutschlands großer Zeit 1813.** In Mappe, 16 Bl. (28×36 cm) M. 4.50,  
Einzelblätter M. —.75. Liebhaberausgabe auf Karton gebildet . . . M. 1.25

Vollständiger Katalog über künstlerischen Wandschmuck mit farbiger Wiedergabe von  
über 200 Blättern gegen Einsendung von M. 1.20 einschließlich Porto (Ausland M. 1.40.)  
Ausführl. Verzeichnis der Postkartenausg. umsonst. Beides v. Verlag in Leipzig, Poststr. 3.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301513



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000295891