

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

592

L. inw. ....

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

Leistungswelt

üblicher Darstellungen

H. Dittel

# Die neueren Wärmekraftmaschinen

I

Vierte Auflage



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig

# Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“

verdankt ihr Entstehen dem Wunsche, an der Erfüllung einer bedeutenden sozialen Aufgabe mitzuwirken. Sie soll an ihrem Teil der unserer Kultur aus der Scheidung in Kasten drohenden Gefahr begegnen helfen, soll dem Gelehrten es ermöglichen, sich an weitere Kreise zu wenden, und dem materiell arbeitenden Menschen Gelegenheit bieten, mit den geistigen Errungenschaften in Fühlung zu bleiben. Der Gefahr, der Halbbildung zu dienen, begegnet sie, indem sie nicht in der Vorführung einer Fülle von Lehrstoff und Lehrsätzen oder etwa gar unerwiesenen Hypothesen ihre Aufgabe sucht, sondern darin, dem Leser Verständnis dafür zu vermitteln, wie die moderne Wissenschaft es erreicht hat, über wichtige Fragen von allgemeinstem Interesse Licht zu verbreiten, und ihn dadurch zu einem selbständigen Urteil über den Grad der Zuverlässigkeit jener Antworten zu befähigen.

Es ist gewiß durchaus unmöglich und unnötig, daß alle Welt sich mit geschichtlichen, naturwissenschaftlichen und philosophischen Studien befasse. Es kommt nur darauf an, daß jeder an einem Punkte die Freiheit und Selbständigkeit des geistigen Lebens gewinnt. In diesem Sinne bieten die einzelnen, in sich abgeschlossenen Schriften eine Einführung in die einzelnen Gebiete in voller Anschaulichkeit und lebendiger Frische.

In den Dienst dieser mit der Sammlung verfolgten Aufgaben haben sich denn auch in dankenswertester Weise von Anfang an die besten Namen gestellt. Andererseits hat dem der Erfolg entsprochen, so daß viele der Bändchen bereits in neuen Auflagen vorliegen. Damit sie stets auf die Höhe der Forschung gebracht werden können, sind die Bändchen nicht, wie die anderer Sammlungen, stereotypiert, sondern werden — was freilich die Aufwendungen sehr wesentlich erhöht — bei jeder Auflage durchaus neu bearbeitet und völlig neu gesetzt.

So sind denn die schmucken, gehaltvollen Bände durchaus 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 kleine Bibliothek zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt“ vereinigt.

Di  
in

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296125

Werke, die mel  
Jedes Bändche

m Band geb.  
den M. 1.25

Leipzig

Teubner

## Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

Die Naturwissenschaften im Haushalt. Von Dr. J. Bongardt. 2 Bde. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 125, 126.)

I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb. (Bd. 125.)

II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abbildungen. (Bd. 126.)

Chemie in Küche und Haus. Von weibl. Prof. Dr. G. Abel. 3. Aufl. von Dr. J. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)

Die Schmucksteine und die Schmuckstein-Industrie. Von Dr. A. Eppler. Mit 64 Abb. (Bd. 376.)

Die Spinnerei. Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit Abb. (Bd. 338.)

Weinbau und Weinbereitung. Von Dr. F. Schmitthener. (Bd. 332.)

Die Bierbrauerei. Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)

Agrikulturchemie. Von Dr. P. Krißche. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)

Elektrochemie. Von Prof. Dr. K. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)

Photochemie. Von Prof. Dr. G. Kümmell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)

Der Luftstickstoff und seine Verwertung. Von Prof. Dr. K. Kaiser. Mit 13 Abb. (Bd. 313.)

Heizung und Lüftung. Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abbildungen. (Bd. 241.)

Das moderne Beleuchtungswesen. Von Dr. H. Lüg. Mit Abb. (Bd. 433.)

---

Am laufenden Webstuhl der Zeit. Von Prof. Dr. W. Saunhardt. 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 23.)

Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat K. Merkel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.)

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Geh. Reg.-Rat M. Weitel. Mit Abb. (Bd. 462.)

Maschinenelemente. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)

Die Dampfmaschine I: Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 393.)

Die Dampfmaschine II: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit Abb. (Bd. 394.)

Industrielle Feuerungsanlagen und Dampfkessel. Von Ingenieur J. E. Mayer. (Bd. 348.)

Die neueren Wärmekraftmaschinen I: Einführung in die Theorie und den Bau der Maschinen für gasförmige und flüssige Brennstoffe. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 4. Aufl. Mit 33 Abb. (Bd. 21.)

Die neueren Wärmekraftmaschinen II: Gasmaschinen, Gas- und Dampfturbinen. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)

Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Kass. Geh. Reg.-Rat A. v. Jhering. 2. Aufl. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)

Die elektrische Kraftübertragung. Von Ingenieur P. Köhn. (Bd. 424.)

Die Wirtschaftlichkeit der Kraftanlagen. Von M. Gerde. (Bd. 425.)

Landwirtschaftliche Maschinenkunde. Von Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abb. (Bd. 316.)

- Hebezeuge.** Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Geh. Bergrat Prof. R. Dater. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)
- Das Eisenbahnwesen.** Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinspektor a. D. E. Biedermann. 2. Aufl. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 144.)
- Die Klein- und Straßenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
- Grundlagen der Elektrotechnik.** Von Dr. A. Rothh. Mit 72 Abb. (Bd. 391.)
- Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** Von Telegrapheninspektor H. Brück. Mit 58 Abb. (Bd. 255.)
- Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik.** Von Telegrapheninspektor H. Brück. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
- Die Sunken-Telegraphie.** Von Oberpostpraktikant H. Thurn. Mit 53 Illustr. 2. Aufl. (Bd. 167.)
- Nautilk.** Von Dir. Dr. J. Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)
- Das Kriegsschiff.** Von Geh. Marinebaurat Krieger. (Bd. 389.)
- Die Luftfahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung.** Von Dr. R. Nimführ. 3. Aufl. von Dr. F. Huth. Mit zahlr. Abb. (Bd. 300.)
- Das Automobil.** Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ingenieur K. Blau. 2. Aufl. Mit 83 Abb. (Bd. 166.)
- Bilder aus der chemischen Technik.** Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abbild. (Bd. 191.)
- Chemie und Technologie der Sprengstoffe.** Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Die Handfeuerwaffen.** Ihre Entwicklung und Technik. Von Hauptmann R. Weiß. Mit 69 Abb. (Bd. 364.)
- Die Uhr.** Von Reg.-Bauführer a. D. H. Bodt. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)
- Wie ein Buch entsteht.** Von Prof. A. W. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Tafeln und 26 Abb. (Bd. 175.)
- Die Photographie, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre Anwendung.** Von Dr. O. Prelinger. (Bd. 414.)
- Die künstlerische Photographie.** Von Dr. W. Warstat. Mit Bilderanhang (12 Tafeln). (Bd. 410.)
- Die Kinematographie.** Von Dr. H. Lehmann. (Bd. 358.)
- Die Baustoffe des Hauses, ihre Eigenschaften, Verwendung und Erhaltung.** Von Prof. M. Girndt. (Bd. 447.)
- Der Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Hajmowici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)
- Das Wohnhaus.** Von Reg.-Baumeister a. D. G. Langen. 2 Bde. (Bd. 444, 445.) Bd. I: Sein technischer Aufbau. Bd. II: Seine Anlage und Ausgestaltung.
- Das Eisenhüttenwesen.** Von Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Wedding. 4. Aufl. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

21. Bändchen

Die neueren  
Wärmekraftmaschinen

I. Einführung in die Theorie  
und den Bau der Gasmaschinen

Von

Richard Vater

Geh. Bergrat, Prof. an der  
Königl. Bergakademie Berlin

Vierte Auflage  
Mit 42 Abbildungen



Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1914

*Richard Vater*

~~I 599~~



### Vorwort zur vierten Auflage.

Wesentliche Änderungen habe ich bei der neuen Auflage nicht vorgenommen, dagegen habe ich dem in Besprechungen früherer Auflagen mehrfach geäußerten Wunsche nach einer Vermehrung der Abbildungen nach Möglichkeit Rechnung getragen. Die neuen Abbildungen stellen meist eigene photographische Aufnahmen von Maschinen dar, die sich in dem meiner Leitung unterstehenden Maschinenlaboratorium der Kgl. Bergakademie befinden. Auch sonst war ich bestrebt, etwa noch vorhandene Unklarheiten zu beseitigen und überall die neueste Entwicklung der Gasmaschinen zu berücksichtigen.

Ich kann aber nicht umhin hier noch einmal ausdrücklich hervorzuheben, daß das kleine Buch nur eine Einführung sein soll. Eine Reihe fesselnder neuerer Gestaltungen — ich erwähne nur die Zweitaktmaschine von Professor Junkers, die Flugzeugmaschinen mit kreisenden Zylindern u. a. — mußten unberücksichtigt bleiben, wenn der Umfang des Buches nicht allzusehr anschwellen sollte. Bau und Wirkungsweise aller dieser Maschinen zu verstehen, wird aber keinem schwerfallen, der den vorliegenden Ausführungen mit Aufmerksamkeit gefolgt ist.

Burzeit Gries-Bozen, Oktober 1913.

R. Vater.



I 301679

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Akc. Nr. 4699/51

BPK-B-131/2017

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort . . . . . II

## Erster Abschnitt.

### **Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.**

Erstes Kapitel: **Grundlegende Sätze aus der Mechanik und Erklärung einiger fachtechnischer Ausdrücke** . . . . . 1

Kraft (1), Arbeit (2), Kraftmaschinen (3), Leistung (4), Pferdekraft (6), Nutzpferdekraft (7), Indizierte Pferdekraft (8), Mechanischer Wirkungsgrad (9), Indikator (9), Diagramm (10), Neuere Indikatoren (11), Berechnung der Maschinenleistung (14).

Zweites Kapitel: **Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmetheorie** . . . . . 15

Satz von der Erhaltung der Energie (15), Erster Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (16), Absolute Temperatur (19), Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Boyle (20), Kreisprozeß (23), Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (25), Thermischer Wirkungsgrad (26), Wirtschaftlicher Wirkungsgrad (27).

## Zweiter Abschnitt.

### **Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen über die älteren.**

Erstes Kapitel: **Die älteren Wärmekraftmaschinen** . . . . . 28

Entwicklung der Dampfmaschine (28), Grund für die schlechte Wärmeausnützung in Dampfmaschinenanlagen (30), Warum baut man heute noch Dampfmaschinen? (32), Heißluftmaschinen (32).

Zweites Kapitel: **Die neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen)** . . . . . 34

Verbesserte Wärmeausnützung bei den neueren Wärmekraftmaschinen (35), Andere Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen (36), Brennstoffkosten bei Wärmekraftmaschinen (38), Betriebskosten bei Wärmekraftmaschinen (41).

## Dritter Abschnitt.

### **Verpuffungsmaschinen für vergaste feste Brennstoffe.**

Erstes Kapitel: **Geschichtlicher Rückblick** . . . . . 41

Erste Versuche zum Bau von Gasmaschinen (41), Lenoir-Maschine (42), Die atmosphärische Gasmaschine (43), Der „neue Otto“ (46).

	Seite
Zweites Kapitel: <b>Die Betriebsmittel</b> . . . . .	47
Leuchtgas (47), Kraftgas (51), Sauggas (52), Gichtgase und Koks- ofengase (54).	
Drittes Kapitel: <b>Wirkungsweise der neueren Gasmaschinen</b> . . .	55
Grundbedingungen für zweckmäßiges Arbeiten (55), Viertakt- wirkung (57), Mängel der Viertaktwirkung (60), Das Ansaugen (61), Das Verdichten (62), Zündung und Verpuffung (65), Aus- puff (65), Zweitaktmaschinen (66).	
Viertes Kapitel: <b>Der Aufbau der Gasmaschinen</b> . . . . .	68
Allgemeiner Aufbau (68), Kühlung (70), Steuerung (72).	
Fünftes Kapitel: <b>Die Gasmaschine im Betrieb</b> . . . . .	75
Zündung (75), Regulierung (77), Regulierung durch Ausseher (78), Regulierung durch Gemischänderung (80), Regulierung durch Ände- rung der Gemischmenge (81), Verschlechterung des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung (82), Ausführungsbeispiel (84), Das Zugangsetzen (86), Anlaßvorrichtungen (87).	
Sechstes Kapitel: <b>Zubehörteile zur Gasmaschine</b> . . . . .	87
Gasuhr, Druckregler (87), Gummibeutel (88), Allgemeine Anord- nung (89), Ansaugtopf (89), Auspufftopf (90).	

#### Vierter Abschnitt.

### Verpuffungsmaschinen für vergaste flüssige Brennstoffe.

Erstes Kapitel: <b>Allgemeines</b> . . . . .	91
Zweites Kapitel: <b>Die Betriebsmittel</b> . . . . .	92
Die Destillationserzeugnisse des Rohpetroleums (92), Benzol (94), Spiritus (94), Schweröle (95).	
Drittes Kapitel: <b>Die Maschinen</b> . . . . .	95
Benzin- und Benzolmaschine (95), Petroleummaschinen (99), Übel- stände der gewöhnlichen Petroleummaschinen (102), Spiritusma- schinen (104).	

#### Fünfter Abschnitt.

### Gasmaschinen mit langsamer Verbrennung (Dieselmaschinen) . 106

Allgemeines (106), Hohe Verdichtung (106), Arbeitsweise (107), Re-  
gulierung (108), Aufbau und Einzelheiten der Maschine (110), An-  
lassen (111), Die zum Betriebe geeigneten Brennstoffe (113), Ei-  
nige weitere Vorteile (113), Übelstände der Dieselmachine (114).

#### Schluß.

Warum baut man noch Dampfmaschinen? . . . . .	115
Sachregister . . . . .	118

## Erster Abschnitt.

### Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

#### Erstes Kapitel.

#### Grundlegende Sätze aus der Mechanik und Erklärung einiger fachtechnischer Ausdrücke.

Kraft. Arbeit. Kraftmaschinen. Leistung. Pferdekraft. Ruspferdekraft. Indizierte Pferdekraft. Mechanischer Wirkungsgrad. Indikator. Diagramm.

**Kraft.** Mit dem Worte „Kraft“ bezeichnet man in der Mechanik allgemein die Ursache für die Bewegungsänderung irgendeines Körpers. Diese Bewegungsänderung kann mannigfacher Natur sein. Entweder der Körper war vorher in Ruhe — nach den Anschauungen der Mechanik ist Ruhe nur ein Sonderfall der Bewegung — und wurde in Bewegung versetzt, oder der Körper hatte bereits eine Bewegung und diese Bewegung, seine Geschwindigkeit, wurde z. B. vergrößert. Die Bewegungsänderung kann aber auch in der Weise eintreten, daß die Geschwindigkeit eines sich bewegenden Körpers verlangsamt wird, oder der Körper kann aus dem Zustande der Bewegung in den Zustand der Ruhe übergeführt werden. Für alle diese Arten von Bewegungsänderungen muß eine Ursache vorhanden sein und diese Ursache bezeichnet man eben mit dem allgemeinen Begriffe Kraft.<sup>1)</sup>

Ist ein Pendel, das vorher in Bewegung war, zur Ruhe gekommen, oder ist ein Wagen, der einen Abhang herunterrollte, unten stehengeblieben, so hört man gewöhnlich sagen: „er ist von selber stehengeblieben“. Das ist aber streng genommen nicht richtig! Bewegungsänderung ohne Ursache gibt es nicht, auch in den beiden eben angeführten Fällen haben Kräfte auf das Pendel oder auf den Wagen eingewirkt, es waren nur keine äußerlich sichtbaren Kräfte, sondern gewisse Bewegungshindernisse, das heißt Reibungswiderstände, die also nach der oben gegebenen Erklärung gleichfalls als Kräfte angesehen werden müssen.

Die Größe der Kräfte wird gemessen durch Gewichte; bekanntlich gilt dabei als Einheit das Kilogramm (kg), das heißt das Gewicht eines

1) Vgl. z. B. auch F. Auerbach, Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. ARuG. Bd. 40.

Kubikdezimeters (eines Liters) reinen Wassers, dessen Temperatur  $4^{\circ}\text{C}$  beträgt. Sagt man also, ein Arbeiter habe mittels eines Flaschenzuges eine Kraft von 400 kg ausgeübt, so heißt das: dem von dem Arbeiter ausgeübten Zuge würde durch ein an dem anderen Ende des Flaschenzuges angehängtes Gewicht von 400 kg das Gleichgewicht gehalten werden; oder man sagt: der Arbeiter hat an dem Flaschenzuge eine Kraft von 30 kg ausgeübt, das heißt: die durch den Flaschenzug zu hebende Last wäre auch gehoben worden, wenn an dem Punkte, wo der Arbeiter gezogen hat, ein Gewicht von 30 kg befestigt worden wäre. Sagt man: die Kraft, mit welcher der Dampf einen sich nach abwärts bewegenden Dampfkolben vorwärts schiebt, betrage 5000 kg, so heißt das, es würde dieselbe Wirkung erreicht werden, wenn auf die obere Fläche des Kolbens ein Gewicht von 5000 kg gestellt würde usw. Die Wirkung einer Kraft wird man sich also immer vorstellen können als die Wirkung eines Gewichtes. Ein solches Gewicht wirkt ja nun allerdings nur in senkrechter Richtung nach abwärts, aber es ist doch auch leicht einzusehen, daß man etwa mittels einer Schnur, die in gehöriger Weise über irgendeine Leitrolle geführt ist, die mannigfachsten Bewegungen und selbst eine gerade entgegengesetzte Bewegung, das heißt eine nach oben gerichtete Kraft, mittels eines solchen Gewichtes erzeugen kann.

**Arbeit.** Von diesem Begriffe Kraft ist nun streng zu unterscheiden der Begriff Arbeit! Unter Arbeit versteht man in der Mechanik immer ein Produkt aus einer Kraft und einem Weg. Mit einer beliebig kleinen Kraft läßt sich eine beliebig große Arbeit hervorbringen, wenn man nur dafür sorgt, daß diese beliebig kleine Kraft einen entsprechend langen Weg zurücklegt. Ein sehr anschauliches Beispiel dafür bietet wieder der Flaschenzug. Es darf als bekannt vorausgesetzt werden, daß sich mittels eines Flaschenzuges, das heißt mittels einer gewissen Verbindung von Rollen und Seilen oder Ketten, sehr große Lasten durch verhältnismäßig kleine Kräfte heben lassen, wenn nur die Übersetzung, das heißt die Anzahl der Rollen genügend groß gewählt wird.<sup>1)</sup> So läßt sich z. B., wenn von Reibungs- und sonstigen Verlusten abgesehen wird, unter Aufwendung derselben Kraft mittels eines Flaschenzuges von zwei Rollen die doppelt so schwere Last heben als ohne Anwendung des Flaschenzuges, unter Anwendung eines vierrolligen Flaschenzuges die vierfache Last, unter Anwendung eines sechszrolligen Flaschenzuges

1) Näheres siehe Vater, Hebezeuge. M. u. G. Bd. 196.

die sechsfache Last usw. Handelt es sich nun darum, mit Hilfe von Flaschenzügen Lasten etwa von der Straße aus auf einen Speicher zu heben, so wird die Arbeit, welche durch das Hinaufziehen der Lasten verrichtet wurde, verschieden groß sein, je nach der Schwere der Lasten. Ist die zweite hinaufgezogene Last doppelt so schwer als die erste, so ist auch doppelt so viel Arbeit verrichtet worden als im ersten Falle, und doch können in beiden Fällen die Arbeiten von demselben Arbeiter unter Aufwendung der gleichen Kraft verrichtet worden sein, nämlich dann, wenn beim Heben der doppelt so schweren Last ein Flaschenzug von einer doppelt so großen Anzahl Rollen verwendet wurde. Der Unterschied ist eben nur der, daß die Hand des Arbeiters beim Emporziehen der doppelt so schweren Last infolge des mehrrolligen Flaschenzugs einen doppelt so langen Weg zurückgelegt hat als beim Heben der ersten, leichteren Last.

Um die Größe einer Arbeit zu messen, bedarf es wieder einer Einheit. Als solche dient das Meterkilogramm (mkg) oder Kilogramm-meter (kgm), das heißt die Größe derjenigen Arbeit, welche erforderlich ist, um eine Last von 1 kg 1 m hoch zu heben. Beträgt also — um auf das oben angeführte Beispiel noch einmal zurückzukommen — die Höhe des Speichers über der Straße 10 m, und die erste zu hebende Last 40 kg, die zweite dagegen 80 kg, so ist im ersten Falle eine Arbeit von  $10 \times 40$ , das heißt 400 mkg verrichtet worden, im zweiten Falle dagegen  $10 \times 80$ , das heißt 800 mkg. Nehmen wir an, daß zum Heben der Last von 40 kg kein Flaschenzug, sondern einfach ein um eine Rolle geschlungenes Seil verwendet wurde, zum Heben der Last von 80 kg dagegen ein zweifachrolliger Flaschenzug, so hat der Arbeiter im ersten Falle bei jedem Zuge eine Kraft von 40 kg ausüben müssen und seine Hände mußten dabei während des Ausübens dieser Kraft allmählich einen Weg von 10 m zurücklegen. Die von dem Arbeiter verrichtete Arbeit betrug daher  $40 \times 10 = 400$  mkg. Im zweiten Falle, beim Heben der 80 kg schweren Last, mußte der Arbeiter wieder bei jedem Zuge eine Kraft von 40 kg ausüben, seine Hände mußten jedoch dabei allmählich infolge des zweifachrolligen Flaschenzuges einen Weg von  $2 \times 10$  m zurücklegen, so daß schließlich die verrichtete Arbeit  $40 \times 20$ , das heißt 800 mkg betrug.

**Kraftmaschinen.** Maschinen, welche mechanische oder Bewegungsarbeit in größerer Menge durch Aufwendung einer anderen Arbeit liefern, bezeichnet man mit dem allgemeinen Namen Kraftmaschinen. In der Bezeichnung scheint allerdings zunächst ein Widerspruch zu liegen, sie

hat aber doch ihre Berechtigung. Eine solche Kraftmaschine liefert freilich zunächst nur Arbeit; wirklich nutzbringend wird diese Arbeit jedoch erst dann sein, wenn sie wiederum in ihre Bestandteile Kraft und Weg zerlegt und die gewonnene Kraft dazu benutzt wird, um durch sie irgendeine nutzbringende Arbeit, wie das Heben von Lasten, Bewegung eines Werkstückes auf der Drehbank und dergleichen, verrichten zu lassen. Mit anderen Worten: geradeso, wie sich die Arbeit in der Kraftmaschine aus Kraft und Weg zusammensetzt, z. B. in der Dampfmaschine aus der auf den Kolben wirkenden Dampfkraft und dem von dem Kolben zurückgelegten Weg, so läßt sich auch andererseits die von der Maschine verrichtete Arbeit in ganz beliebiger Weise in die einzelnen Faktoren Kraft und Weg zerlegen.

Je nachdem nun die Muskelkraft von Menschen und Tieren, die Kraft des Wassers, des Windes oder die Kraft des durch die Wärme verursachten Ausdehnungsbestrebens gewisser Flüssigkeiten oder Gase zur Bewegung von Maschinen benutzt wird, spricht man von Muskelkraftmaschinen, Wasserkraftmaschinen, Windkraftmaschinen und Wärmekraftmaschinen. Mit Bezug auf ihre Bedeutung für die Technik ist dabei die letzte Klasse der Kraftmaschinen, die der Wärmekraftmaschinen, unbedingt als die wichtigste anzusehen. Daß eine Anwendung der Muskelkraftmaschinen für die Technik nur in ganz beschränktem Umfange stattfinden kann, liegt auf der Hand. Gegen die Anwendung der Windkraftmaschinen spricht die Unregelmäßigkeit und Unzuverlässigkeit des Betriebsmittels. Die Wasserkraftmaschinen sind ihrer Größe und ihrer Lage nach in zu hohem Maße an die Örtlichkeit gebunden: wo kein Wasser vorhanden ist, kann auch keine Wasserkraftmaschine aufgestellt werden, bei nur geringen Wasserkräften ist die Größe der Wasserkraftmaschinen eine beschränkte. Bei den Wärmekraftmaschinen dagegen liegt die Kraftquelle in Brennstoffen verborgen, die überall hin in jeder beliebigen Menge geschafft werden können. Die Wärmekraftmaschinen können daher an jedem Orte in jeder beliebigen Größe zur Verwendung gelangen, sie müssen daher naturgemäß einen hervorragenden Platz unter den Kraftmaschinen einnehmen.

**Leistung.** Mit Bezug auf die Kraftmaschinen ist noch ein weiterer Begriff näher zu erläutern, der Begriff der Leistung. „Zeit ist Geld“, sagt ein bekanntes Sprichwort, und wenn dieses Sprichwort mit den oben angestellten Untersuchungen über Kraft und Arbeit in Verbindung gebracht wird, so ergibt sich leicht, daß es in Wirklichkeit nicht gleichgültig sein kann, in welcher Zeit eine gewisse Arbeit verrichtet wurde. Man

kommt dabei auf einen dritten Begriff, der sich aus drei Faktoren zusammensetzt, nämlich aus Kraft, Weg und Zeit, das heißt auf den Begriff der Leistung. Als Einheit der Leistung pflegt man diejenige anzusehen, welche in einer Sekunde eine Arbeit von 1 mkg zu liefern imstande ist, und nennt eine solche Leistung ein Sekundenmeterkilogramm (seemkg). Man versteht also z. B. unter einer Leistung von 20 seemkg diejenige Arbeit, welche aufgewendet werden mußte, um in einer Sekunde entweder 20 kg 1 m hoch oder 1 kg 20 m hoch oder auch 10 kg 2 m hoch usw. zu heben.

Man erkennt sofort, daß eine Kraftmaschine unter sonst gleichen Verhältnissen um so mehr leistet, je schneller sie läuft. Liegt z. B. eine Dampfmaschine vor, deren Kolben einen bestimmten Querschnitt und einen bestimmten Hub hat und auf deren Kolben der Dampf immer mit einer ganz bestimmten Kraft drückt, so wird diese Maschine offenbar um so mehr leisten, je schneller sie läuft, denn die Arbeit, welche der Kolben bei einem Hin- und Hergange verrichtet, wird eben um so öfter in einer Sekunde verrichtet werden, je größer die Anzahl der Hin- und Hergänge in einer Sekunde ist.

Kehren wir noch einmal zurück zu dem früher besprochenen Beispiele von dem Heraufziehen der beiden Lasten auf den Speicher. Wir hatten gesehen, die von dem Arbeiter aufzuwendende Kraft beträgt in beiden Fällen je 40 kg. Die verrichtete Arbeit betrug im ersten Falle 400 mkg, im zweiten Falle 800 mkg. Nehmen wir nun an, der Arbeiter bewege seine Hände in beiden Fällen mit der gleichen Geschwindigkeit und zwar so, daß er zum Heben der einfachen Last von 40 kg auf die Höhe von 10 m 50 Sekunden braucht; dann braucht er im zweiten Falle zum Heben der 80 kg 100 Sekunden. Der Arbeiter hat also im ersten Falle zu einer Arbeit von 400 mkg 50 Sekunden gebraucht, das heißt: er leistete in einer Sekunde 8 mkg, seine Leistung war demnach 8 seemkg. Im zweiten Falle braucht er zu einer Arbeit von 800 mkg 100 Sekunden, in einer Sekunde leistete er demnach wiederum 8 mkg, seine Leistung war wieder 8 seemkg. Mit anderen Worten: die Leistung des Arbeiters war in beiden Fällen dieselbe. Würde ein anderer Arbeiter in jedem der beiden Fälle nur die Hälfte der Zeit brauchen, so wäre die von ihm aufgewendete Kraft, sowie die verrichtete Arbeit gerade so groß wie bei dem ersten Arbeiter, während die Leistung die doppelte wäre, da er ja die Last in der Hälfte der Zeit oder, anders ausgedrückt, in einer Sekunde die Last doppelt so hoch gehoben hätte als der erste Arbeiter.

Offenbar wird man nun nicht denjenigen Arbeiter für den besseren erklären, welcher allgemein eine größere Arbeit verrichtet hat als ein

anderer, sondern denjenigen, welcher eine gewisse Arbeit in möglichst kurzer Zeit verrichtet hat. Ganz dasselbe ist aber auch bei einer Kraftmaschine der Fall. Auf die Kraft, welche eine solche Kraftmaschine ausübt, kommt es nur in den seltensten Fällen an; die im ganzen verrichtete Arbeit kommt überhaupt nicht in Betracht, denn man kann auch mit einer kleinen Kraftmaschine eine sehr große Arbeit verrichten. Wenn man z. B. eine solche kleine Kraftmaschine eine Pumpe betreiben läßt, so wird man auf diese Weise eine große Menge Wasser auf eine bestimmte Höhe heben können, d. h. eine große Arbeit verrichten können, wenn man nur die Kraftmaschine eine genügend lange Zeit arbeiten läßt. Für besser, das heißt für leistungsfähiger wird man jedoch offenbar diejenige Kraftmaschine ansehen müssen, welche imstande ist, eine gewisse Menge Wasser auf eine bestimmte Höhe in möglichst kurzer Zeit zu heben. Man spricht deshalb bei Kraftmaschinen immer von ihren Leistungen, das heißt: man fragt stets, welche Arbeit kann die Maschine in einer bestimmten Zeit verrichten.

**Pferdekraft.** Für die gewöhnlich vorkommenden Fälle ist dabei jedoch die oben erwähnte Einheit des Sekundenmeterkilogramms zu klein, das heißt: die Zahlen, durch welche man die Leistungen ausdrückt, würden für die Rechnung zu unbequem groß werden; man pflegt daher statt dessen eine größere Einheit anzuwenden, die sogenannte Pferdekraft oder Pferdestärke (PS), welche 75 secmkg beträgt. Sagt man also: eine Dampfmaschine hat eine Leistung von 10 PS, so heißt das: die Dampfmaschine ist imstande, in einer Sekunde  $10 \times 75$  kg 1 m hoch oder  $10 \times 1$  kg 75 m hoch zu heben usw.

Der Begriff Pferdekraft oder Pferdestärke enthält eine gewisse Unklarheit. Man denkt dabei zunächst unwillkürlich an die Kraft, das heißt an die Fähigkeit eines Pferdes, irgendeine schwere Last von der Stelle zu bewegen. Daß es hierauf bei dem Begriffe Pferdekraft nicht im geringsten ankommt, haben die obigen Erörterungen deutlich gezeigt. Nicht auf die Ausübung einer großen Kraft, sondern auf die Menge der sekundlich verrichteten Arbeit kommt es an, wenn man sagt: die Maschine leistet hundertsovielen Pferdekraft. Es verdient dabei übrigens hervorgehoben zu werden, daß nur die wenigsten Pferde imstande sind, 1 PS, das heißt 75 secmkg, wirklich eine längere Zeit hindurch zu leisten. Im allgemeinen kann man sagen, daß die dauernde Leistung eines Pferdes wohl nur in seltenen Fällen etwa 60 secmkg übersteigt. Andererseits ist es aber vielleicht gut, sich darüber klar zu werden, daß selbst ein Mensch,

der nicht einmal übermäßig kräftig zu sein braucht, gelegentlich eine PS zu leisten vermag, freilich nur während kurzer Zeit. Denken wir uns z. B. den Fall, daß ein Mann, dessen Gewicht mit Kleidung gerade 75 kg beträgt, eine Treppe rasch hinaufläuft. Eine Treppenstufe hat etwa die Höhe von 17 cm; nun ist es für einen gewandten Menschen kein allzu großes Kunststück, beim Hinauffürmen der Treppe gelegentlich sechs Stufen auf einmal zu nehmen. Tut er dies aber, und nehmen wir an, daß die Zeit, die dazu verwendet wurde, gerade eine Sekunde dauerte, so hat der Betreffende in einer Sekunde sein eigenes Gewicht (75 kg) 102 cm hoch gehoben, mit anderen Worten: er hat eine Sekunde lang sogar noch etwas mehr als eine PS geleistet.

Wenn ein Maschinenfahrrad oder ein kleiner Kraftwagen gelegentlich auf ansteigender Straße oder sandigem Wege nicht mehr weiter kann, so hört man wohl von Laien die erstaunte Bemerkung „das soll nun eine Maschine von (z. B.) fünf Pferdestärken sein! Ein einziges lebendiges Pferd würde doch mit Leichtigkeit den kleinen Wagen hier vorwärts bringen.“ Der Trugschluß liegt in einer Verkennung des Begriffes Pferdestärke. Daß der Wagen nicht mehr weiter kam, lag nur daran, daß die Maschine nicht imstande ist, bei langsamstem Gange eine entsprechend große Kraft auszuüben. Eine Pferdestärke stellt eine Leistung von 75 secmkg dar. Eine Maschine von 1 PS, das heißt also eine Maschine, die imstande ist in jeder Sekunde 1 kg 75 m hoch zu heben, kann auch in jeder Sekunde 10 kg heben, aber nur dann, wenn sie so gebaut ist, daß das Heben entsprechend langsamer vor sich geht, im vorliegenden Falle also nur dann, wenn die Last in der Sekunde nicht um 75, sondern nur um 7,5 m gehoben zu werden braucht. Eine solche Änderung von Kraft und Weg in der Zeiteinheit ist aber z. B. bei den Maschinen für Kraftwagen nur in beschränkter Weise möglich. Sowie ihre Umdrehzahl unter eine gewisse Grenze sinkt, können sie überhaupt nicht mehr arbeiten, sie gleichen darin etwa einem Pferde, das nur gewohnt ist, einen leichten Wagen in scharfem Trabe zu ziehen, nicht aber auch schwerere Lasten in langsamster Gangart fortzubewegen.

**Nutzpferdekraft.** Es sind nun noch zwei Ausdrücke zu erläutern, welche in der Technik gerade bei Kraftmaschinen sehr viel angewendet werden: die Ausdrücke effektive oder Nutzpferdekraft und indizierte oder aufgezeichnete Pferdekraft. Unter effektiver oder Nutzpferdekraft versteht man, wie das in dem Worte selbst zum Ausdruck kommt, diejenige

Leistung, welche eine Kraftmaschine effektiv, das heißt tatsächlich nutzbringend abzugeben imstande ist. Denken wir uns z. B. eine Dampfmaschine, deren sehr breites Schwungrad als Trommel ausgebildet ist; an dieser Trommel sei ein Seil befestigt, welches wir uns für einen Augenblick als gewichtslos vorstellen wollen, und an diesem Seile hänge, etwa tief unten in einem Schachte, ein Gewicht. Hat nun die betreffende Dampfmaschine eine Leistung von 100 Nutzpferdestärken (100 PS<sub>n</sub>), so heißt das: vermittels dieser Dampfmaschine sind wir imstande ein Gewicht von  $100 \times 75$  kg in jeder Sekunde 1 m hoch zu heben. Diese Größe der Nutzpferdestärken ist es nun, welche für den Gewerbetreibenden einzig und allein von Wichtigkeit ist. Der Gewerbetreibende will wissen, wieviel Kilogramm Dampf oder wieviel Kilogramm Kohle er braucht, um mit seiner Dampfmaschine eine Nutzpferdestärke (1 PS<sub>n</sub>) zu erreichen, und er wird im allgemeinen diejenige Dampfmaschine für die beste erklären, welche dafür den geringsten Verbrauch an Dampf und an Kohlen verlangt.

**Indizierte Pferdekraft.** Für den Erbauer einer Kraftmaschine kommt aber noch eine zweite Größe in Betracht, nämlich die Anzahl der indizierten Pferdestärken (PS<sub>i</sub>), das heißt mit kurzen Worten: diejenige Anzahl von Pferdestärken, welche die Kraftmaschine zu leisten imstande wäre, wenn es möglich wäre, sämtliche Reibungsverluste in der Maschine selbst zu vermeiden. Denken wir uns z. B. wieder eine Dampfmaschine. Die Länge des Kolbenhubes, das heißt die Länge des Weges, welchen der Kolben bei jedem Hin- und bei jedem Hergange zurücklegt, betrage 0,5 m, der Kolben lege also bei jedem Hin- und Hergange (bei jeder Umdrehung der Maschine) einen Weg von 1 m zurück. Nehmen wir ferner an, der Dampf drücke auf den Kolben während des ganzen Hubes durchschnittlich mit einer Kraft von 3000 kg, so ist die Arbeit, welche der Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtet,  $1 \times 3000 = 3000$  mkg. Nehmen wir an, die Maschine mache 60 Umdrehungen in der Minute, in jeder Sekunde also eine Umdrehung, so wäre die auf den Kolben der Maschine übertragene Leistung  $1 \times 3000 = 3000$  secmkg, oder, da 75 secmkg nach unserer Erklärung 1 PS sind,  $3000 : 75 = 40$  PS. Diese Leistung würde die Maschine demnach auch wieder nutzbringend abgeben können, wenn nicht ein Teil davon in der Maschine selbst durch unvermeidliche Reibungsverluste verloren ginge. Man nennt sie die indizierte Leistung der Maschine und würde also sagen, diese Maschine hat eine Leistung von 40 indizierten Pferdestärken (40 PS<sub>i</sub>).

**Mechanischer Wirkungsgrad.** Die Anzahl der  $PS_n$ , welche eine solche Maschine von  $40 PS_i$  abzugeben imstande ist, kann verschieden sein, je nach der Sorgfalt, welche beim Bau der Maschine verwendet wurde.

Bei einigermaßen guter Ausführung dürfte die Anzahl der  $PS_n$  etwa 34 betragen, und man nennt nun das Verhältnis  $PS_n : PS_i = \eta_m$  den mechanischen Wirkungsgrad der Maschine, der also in diesem Falle  $\eta_m = 34 : 40 = 0,85$  betragen würde, das heißt 85 % der von dem Dampfe im Zylinder wirklich verrich-

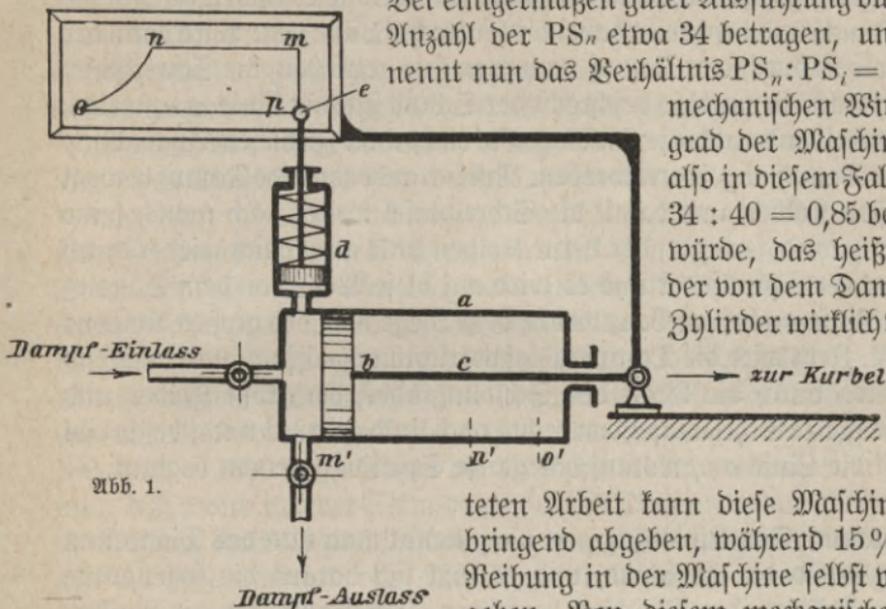


Abb. 1.

teten Arbeit kann diese Maschine nutzbringend abgeben, während 15 % durch Reibung in der Maschine selbst verloren gehen. Von diesem mechanischen Wirkungsgrade ist zu unterscheiden der sogenannte thermische Wirkungsgrad einer Kraftmaschine, welcher weiter unten erläutert werden soll.

**Indikator.** Da gerade der Ausdruck „indizierte Pferdestärke“ für die folgenden Untersuchungen von besonderer Bedeutung ist, dürfte es angebracht sein, eine Erklärung dafür zu geben, warum man diese Zahl indizierte Pferdestärken nennt. „Indizieren“ kommt von dem lateinischen Worte indicare, anzeigen, und die schon von Watt erfundene Vorrichtung, welche dazu dient, die Anzahl der indizierten  $PS$  zu messen, heißt der Indikator, seine Einrichtung wird durch die Skizze Abb. 1 erläutert. Es sei  $a$  der Zylinder,  $b$  der Kolben,  $c$  die Pleuelstange einer Dampfmaschine. An dem äußersten Ende des Dampfzylinders ist ein kleinerer Zylinder  $d$  befestigt, der mit dem Innern des Dampfzylinders in Verbindung steht. In diesem kleineren Zylinder bewegt sich ein Kolben, welcher von einer Feder stets nach unten gedrückt wird, und dessen Pleuelstange in einen Schreibstift  $e$  endet. An der Pleuelstange des großen Kolbens ist in geeigneter Weise eine Schreibtafel befestigt, welche sich mit der großen Pleuelstange,

also auch mit dem großen Kolben hin und herbewegt. Läßt man in den Zylinder Dampf einströmen, so drückt der Dampf auf beide Kolben. Ehe sich aber der große schwerbewegliche Kolben mit dem ganzen Gestänge der Maschine in Bewegung gesetzt hat, wird der kleine federbelastete Kolben rasch in die Höhe gedrückt und beschreibt dabei die senkrechte Linie  $pm$ . Wird dann der große Kolben durch den Dampf nach vorwärts getrieben, die Schreibtafel also nach rechts bewegt, so beschreibt der Schreibstift die Linie  $mn$ , welche dem vom Kolben durchlaufenen Wege  $m'n'$  entspricht. In diesem Augenblicke möge der Dampf abgesperrt werden. Der sich ausdehnende Dampf bewegt den großen Kolben und damit die Schreibtafel weiter nach rechts, seine Spannung wird geringer, der kleine Kolben sinkt allmählich wieder durch den Druck der Spiralfeder und es wird auf diese Weise von dem Schreibstifte die Linie  $no$  beschrieben, welche dem Wege  $n'o'$  des großen Kolbens entspricht. Jetzt wird die Dampfauslassvorrichtung geöffnet, und während dann, etwa durch die Kraft des Schwungrades, der große Kolben und damit die ganze Schreibtafel von rechts nach links gedrückt wird, beschreibt der Stift die Linie  $op$ , worauf das ganze Spiel von neuem beginnt.

**Diagramm.** Den Linienzug  $pmno$  nennt man nun das Diagramm oder Schaubild der Maschine, und es läßt sich daraus die sogenannte indizierte Leistung der Maschine berechnen. Der Druck, den die Außenluft (die Atmosphäre) auf einen qcm Fläche ausübt, beträgt bekanntlich ungefähr gerade 1 kg. Man mißt nun den Dampfdruck nach Atmosphären (atm) und sagt, der Dampf drücke auf eine Fläche mit 1, 2, 3 . . . atm, wenn er auf jeden Quadratcentimeter einer Fläche gerade einen Druck von 1, 2, 3 . . . kg ausübt. Da die der Dampfeinströmung abgewendeten Kolbenseiten in unserem Falle mit der Außenluft in Verbindung stehend gedacht sind, so wird, wenn z. B. von einem Dampfdrucke von 1 atm gesprochen wird, der Dampf natürlich erst dann auf jeden Quadratcentimeter der Kolbenflächen einen für Krafterzeugung verwendbaren Druck von 1 kg ausüben können, wenn seine Spannung den Druck der Außenluft um 1 atm übersteigt. Man sagt in diesem Falle, der Dampf habe eine Spannung von 1 atm Überdruck.

Zum Zwecke der Berechnung der indizierten Leistung wollen wir annehmen, daß durch vorhergehende Versuche festgestellt sei, daß bei einem Dampfdrucke von 1, 2, 3, 4 . . . atm die Feder über dem kleinen Kolben um 1, 2, 3, 4 . . . cm zusammengedrückt werde. Drückt nun der Dampf auf die Kolben mit einer Spannung von 1 atm Überdruck, dann wird

der Schreibstift nach unserer Annahme um 1 cm in die Höhe gedrückt und beschreibt eine senkrechte Linie von 1 cm Länge. Die Kraft, die dabei auf den großen Kolben ausgeübt wird, beträgt, wenn der große Kolben 1000 qcm Flächeninhalt hat,  $1 \times 1000 = 1000$  kg. Rückt der große Kolben unter dem Einflusse des Dampfdruckes um 1 cm nach rechts, so beschreibt der Stift eine wagerechte Linie von 1 cm = 0,01 m Länge, und es hat dabei der große Kolben eine Arbeit verrichtet von  $1000 \times 0,01 = 10$  mkg. Wir sehen demnach, daß jedem Quadratcentimeter Flächeninhalt des Diagrammes eine vom Maschinenkolben geleistete Arbeit von 10 mkg entspricht. Die im ganzen von dem Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtete Arbeit wird sich also bei der angenommenen Stärke der Feder aus dem Diagramm in sehr einfacher Weise dadurch berechnen lassen, daß man den Flächeninhalt des Diagrammes in Quadratcentimetern feststellt und die erhaltene Zahl mit 10 multipliziert. Nehmen wir an, daß der Flächeninhalt des Diagrammes 180 qcm beträgt, so ist die von dem Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtete Arbeit  $180 \times 10 = 1800$  mkg. Macht die Maschine 60 Umdrehungen in der Minute, d. h.: wird in jeder Sekunde ein solches Diagramm durchlaufen, so ist die Leistung der Maschine 1800 secmkg oder in PS ausgedrückt  $1800 : 75 = 24$  PS. Eine andere Art der Berechnung siehe weiter unten S. 14. Wirkt übrigens der Dampf nicht nur auf einer Seite, sondern, wie dies meistens der Fall ist, abwechselnd auf beiden Seiten des Kolbens, so wird auf der entgegengesetzten Seite des Kolbens ein eben solches Diagramm, nur in umgekehrter Weise, beschrieben, und die Gesamtleistung der Maschine ergibt sich einfach durch Verdoppelung der oben gefundenen Leistung.

**Neuere Indikatoren.** Die heutzutage übliche Einrichtung der Indikatoren ist allerdings etwas anders. Bei der vorstehend beschriebenen Anordnung erhält nämlich das Diagramm eine unbequem große Länge. Es muß daher, um eine etwas handlichere Form zu bekommen, dafür gesorgt werden, daß die Maschine das Diagramm in stark verkürzter Form aufzeichnet. Abb. 2 u. 3 stellen die Form eines heutzutage üblichen Indikators dar. Das Wesentliche dieser Einrichtung besteht darin, daß das Diagramm nicht auf eine ebene hin und hergehende Tafel, sondern auf eine sich drehende Trommel aufgezeichnet wird, welche durch eine in ihrem Innern befindliche Spiralfeder *E* (Abb. 3) beim Zurückgehen des Kolbens immer wieder in ihre Anfangslage zurückgedreht wird. Um den unteren Teil der Trommel ist, wie aus Abb. 2 ersichtlich, eine Schnur gewunden, durch deren

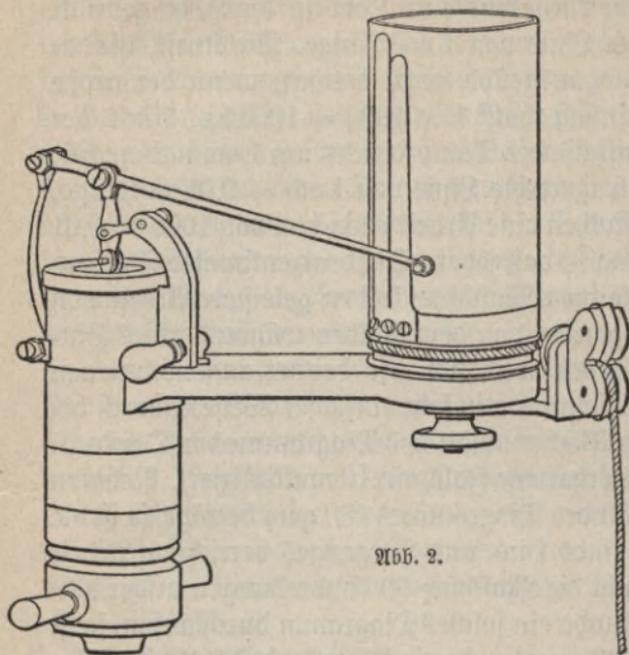


Abb. 2.

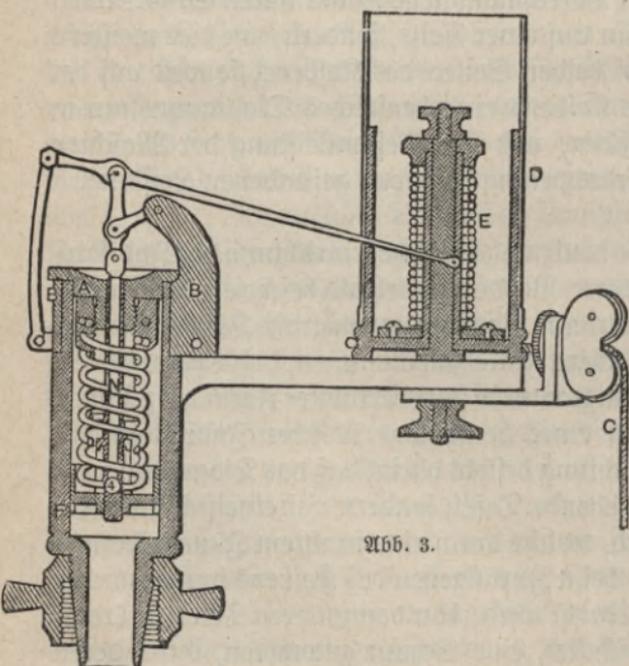


Abb. 3.

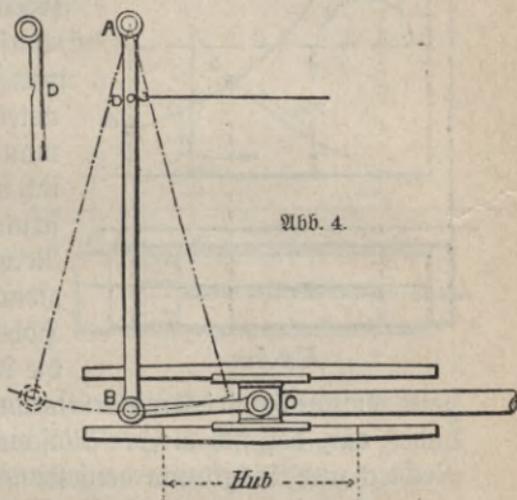
Anziehen und Nachlassen eine Drehung der Trommel bewirkt wird. Um nun die Drehung der kleinen Trommel dem Hube der „zu indizierenden“ Maschine anzupassen und somit immer ein möglichst langes Diagramm zu erhalten, wird das Anziehen und Nachlassen der erwähnten Schnur nicht von dem Kolben oder der Pleuellstange unmittelbar bewirkt, sondern z. B. vermittelst einer durch Abb. 4 veranschaulichten Vorrichtung: durch die Pleuellstange der Maschine wird ein um den Punkt A schwingender Hebel bewegt, an dessen oberem Teile die zur Indikatortrommel führende Schnur befestigt ist, so daß die Drehung der Indikatortrommel um so kleiner, das Diagramm also um so kürzer ausfällt, je näher das freie Ende der um die Trommel geschlungenen Indikatorscheur an dem Drehpunkte A des Hebels befestigt wird. Solche oder ähnliche Vorrichtungen zur Anpas-

fung der Diagrammlängen an den Hub der zu indizierenden Maschine nennt man Reduziervorrichtungen.

Eine andere wesentliche Änderung gegenüber der früher besprochenen Einrichtung von Watt besteht, wie aus den Abb. 2 und 3 ersichtlich ist, darin, daß der Schreibstift nicht mehr unmittelbar an der kleinen Kolbenstange des Indikators sitzt, sondern am Ende eines längeren Hebelarmes, wodurch die Bewegungen des Indikatorkolbens sich in vergrößertem Maßstabe auf dem auf der Trommel befestigten Papierblatte aufzeichnen.

Durch Anordnung gewisser Gelenke — einer sogenannten Gelenkgeradföhrung — ist dann nebenbei dafür gesorgt, daß der am Endpunkte des erwähnten Hebels befestigte Schreibstift auch wirklich eine senkrechte gerade Linie beschreibt, wenn der Indikatorkolben sich auf und ab bewegt. Wäre nämlich diese Gelenkgeradföhrung nicht vorhanden, wäre also der an dem einen Ende mit dem Schreibstift versehene Hebelarm am anderen Ende fest gelagert, so würde bei jedem Hube des Indikatorkolbens der Schreibstift einen Kreisbogen beschreiben, es würde also das ganze Diagramm in stark verzerrter Form aufgezeichnet werden.

Ein weiterer Vorzug dieser Art von Diagrammen möge hier noch kurz erwähnt werden. Gegenüber den mit der früher besprochenen Indikatorrichtung aufgezeichneten Diagrammen unterscheiden sich die zuletzt erwähnten Diagramme äußerlich auch dadurch, daß sie in verkehrter Form gegen früher, sozusagen als Spiegelbild aufgezeichnet werden, das heißt: die Höhe des Diagramms im Punkte *a* (Abb. 5) entspricht dem Drucke im Zylinder bei der Kolbenstellung unter *a*, die Höhe des Diagramms im Punkte *b* entspricht dem Drucke im Zylinder bei der Kolbenstellung unter *b* usw. Diese Art der Darstellung ist offenbar die bequemere, da man, wenn die wagerechte Länge des Diagramms den Kolbenhub darstellt, durch ein einfaches Hinaufmessen sofort die Spannung erkennen kann, welche bei einer gegebenen Kolbenstellung hinter dem Kolben herrscht. Die eingezeichneten Pfeile sollen



dabei die Art und Weise veranschaulichen, in welcher das Diagramm durchlaufen wird.

Die Berechnung der Maschinenleistung aus einem auf diese Weise aufgezeichneten Indikator-diagramme könnte nun in derselben Weise geschehen wie früher (S. 11), indem man zunächst durch Rechnung feststellt, wieviel Arbeit durch einen Quadratcentimeter Fläche des Diagramms dargestellt wird usw. Man kann

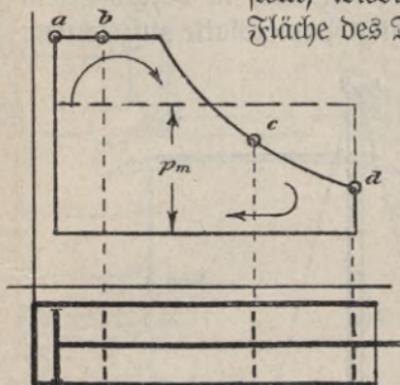


Abb. 5.

sich aber auch eines wesentlich einfacheren Verfahrens bedienen. Stellt Abb. 5 ein von einem solchen Indikator aufgezeichnetes Dampfdiagramm vor, so verwandelt man die Fläche des Diagramms (gewöhnlich mit Hilfe eines besonderen kleinen Instruments, Planimeter genannt) in ein Rechteck von gleichem Flächeninhalte und zwar von der Länge des Diagramms. Die Höhe dieses Rechtecks wird dann  $p_m$  (siehe die Abbildung). Die Länge des Rechtecks

stellt, wie aus den früheren Erörterungen hervorgeht, die Länge des Kolbenhubes dar, der sich an der Maschine selber leicht nachweisen läßt. Da Rechteck und Diagramm denselben Flächeninhalt haben, also genau die gleiche Arbeit darstellen, so ist offenbar die gleichbleibende Höhe  $p_m$  des Rechtecks diejenige „mittlere“ Spannung, welche in gleichbleibender Größe während des ganzen Kolbenhubes auf den Dampfkolben wirken müßte, um dieselbe Arbeit zu erzielen, wie sie von dem Dampfdiagramm dargestellt wird. Es sei beispielsweise der Hub der Maschine  $s = 0,75$  m, der Querschnitt des Dampfkolbens  $F = 1000$  qcm. Ist nun die Höhe des gefundenen Rechtecks  $p_m = 2$  cm und weiß man aus der Zusammensetzung des Indikators, daß eine Dampfspannung von 1 atm (oder 1 kg f. d. qcm) einer Senkrechten von 0,5 cm im Diagramm entspricht, so wäre der sogenannte „mittlere indizierte Druck des Diagramms“  $p_m = \frac{2}{0,5} = 4$  atm; der während des ganzen Kolbenhubes gleichbleibend gedachte Kolbendruck würde dann betragen  $4 \times 1000 = 4000$  kg, die während eines Kolbenhubes geleistete Arbeit  $4000 \times 0,75 = 3000$  mkg. Wird nur auf einer Kolbenseite ein solches Diagramm beschrieben, während die andere Kolbenseite dauernd mit der Außenluft in Verbindung

steht, und macht die Maschine wieder 60 Umdrehungen in der Minute, das heißt: wird in jeder Sekunde ein solches Diagramm beschrieben, so ist die Leistung der Maschine  $3000 : 75 = 40$  PS.

Bei der großen Wichtigkeit der eben angestellten Untersuchungen für die ganze folgende Abhandlung möge hier als Beispiel noch ein Diagramm einer besonderen Art von Gasmaschine kurz erläutert werden.<sup>1)</sup> Der durch das nebenstehende Diagramm (Abb. 6) gekennzeichnete Vorgang im Zylinder dieser Gasmaschine ist folgender: Von *a* bis *b* wird der Kolben von der Kraft des Schwungrades vorwärts bewegt und saugt dabei ein Gemisch von Gas und Luft an. Im Punkte *b*

wird dieses Gemisch in geeigneter Weise entzündet, worauf die Spannung und damit der auf den Kolben ausgeübte Druck plötzlich sehr stark, nämlich von *b* bis *c* wächst. Von hier an schieben die durch die Verpuffung zu hoher Spannung gelangten Gase den Kolben vorwärts bis zum Ende

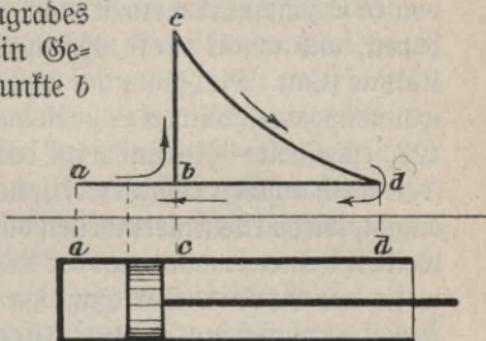


Abb. 6.

des Kolbenhubes *d*, wobei ihre Spannung allmählich abnimmt. Hierauf wird der Kolben wiederum durch die Kraft des Schwungrades zurückgetrieben und stößt dabei die verbrannten spannungslosen Gase aus dem Zylinder heraus. Die von dem Kolben geleistete Arbeit wird wiederum durch die Fläche des Diagramms, das heißt durch die Fläche *bcd* b dargestellt.

## Zweites Kapitel.

### Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmetheorie.

Satz von der Erhaltung der Energie. Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit. Erster Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Boyle. Kreisprozeß. Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. Thermischer Wirkungsgrad. Wirtschaftlicher Wirkungsgrad.

**Satz von der Erhaltung der Energie.** Für das Verständnis der Art und Weise, in welcher eine Kraftwirkung in den Kraftmaschinen zustande kommt, ist es nötig, einen berühmten und äußerst wichtigen Satz kennen zu lernen, welcher etwa um die Mitte des 19. Jahrhunderts zuerst von dem deutschen Arzte Robert Mayer in Heilbronn in aller Bestimmtheit

1) Näheres darüber siehe S. 42.

ausgesprochen und bewiesen wurde, den Satz, daß Wärme und Arbeit äquivalent, das heißt gleichwertig seien, mit anderen Worten, daß mit einer bestimmten Wärmemenge sich immer eine ganze bestimmte Menge mechanischer Arbeit und umgekehrt, daß sich durch eine gegebene Menge mechanischer Arbeit stets eine ganz bestimmte Wärmemenge erzeugen lasse.

Für die mechanische Arbeit hatten wir früher (S. 3) das mkg als Einheit gefunden; als Einheit der Wärmemenge bezeichnet man in der Physik diejenige Wärmemenge, welche einem Kilogramm reinen Wassers von  $0^{\circ}\text{C}$  zugeführt werden muß, um dessen Temperatur auf  $1^{\circ}\text{C}$  zu erhöhen, und nennt diese Wärmemenge eine Wärmeeinheit (WE) oder Kalorie (Cal). Die Zahl nun, welche angibt, wieviel mkg durch 1 WE gewonnen werden können — sie ist durch neuere Versuche und Rechnung auf 427 festgestellt —, nennt man das mechanische Wärmeäquivalent (den mechanischen Wärmewert), den umgekehrten Wert  $1 : 427$ , der also angibt, wieviel Wärmeeinheiten durch Aufwendung von 1 mkg gewonnen werden können, nennt man das Wärmeäquivalent (oder den Wärmewert) der Arbeit. Der Satz von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit — man nennt ihn den **ersten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie** — besagt also, daß sich mit einer Wärmeeinheit theoretisch stets eine Arbeit von 427 mkg und umgekehrt durch Aufwendung einer Arbeit von 1 mkg immer eine Wärmemenge von  $1 : 427$  WE erzeugen läßt.

Der Satz zeigt, daß es unrichtig oder wenigstens ungenau ist, wenn man, z. B. bei Kraftmaschinen, von einer Kräfteerzeugung spricht. Erzeugung von Kraft oder Erzeugung von Arbeitsvermögen gibt es nicht. In welcher Weise auch immer Kraft oder Arbeitsvermögen scheinbar erzeugt worden sein mag, stets stellt es sich heraus, daß diese Arbeit oder das erlangte Arbeitsvermögen durch Umwandlung eines anderen Arbeitsvermögens gewonnen wurde. Auf diesem Wege weiter fortschreitend, gelangt man schließlich zu dem ebenfalls von Robert Mayer zuerst in bestimmter Weise ausgesprochenen berühmten Satze von der Erhaltung der Energie.<sup>1)</sup> Dieser Satz besagt, daß ein in der Welt bestehendes Arbeitsvermögen (Energie) nie verloren geht, sondern sich höchstens in andere Formen umwandelt, ebenso wie ein im Weltall vorhandener Stoff niemals untergeht, sondern nur seine Gestalt verändert. Der Ballast, den der Luftschiffer auswirft, verschwindet scheinbar in der Luft, aber die Sandkörnchen haben sich nur unendlich fein zerstreut. Könnte man sie wieder zusammentragen, so müßte sich selbstverständlich wieder

1) Siehe Anm. zu S. 1.

das Gewicht ergeben, welches der Sand im Sack vor dem Auswerfen gehabt hat. Wenn wir in einer Schale Alkohol verbrennen, so verschwindet er scheinbar, in Wahrheit ist kein Atom der Stoffe, welche er enthalten hat, verloren gegangen; denn wenn wir mittels geeigneter Gefäße die Gase auffangen, welche infolge der Verbrennung des Alkohols entstehen, so finden wir in diesem Gefäße genau das Gewicht wieder, welches der Alkohol vor seiner Verbrennung gehabt hat, vermehrt um das Gewicht des zur Verbrennung verbrauchten Luftsaurostoffes.

Ebenso wie von dem Stoff kann nun auch von einem vorhandenen Arbeitsvermögen nichts verloren gehen, dieses Arbeitsvermögen kann immer nur scheinbar verschwinden, weil es sich umwandelt oder in unendlich kleine Teile zerstreut. Um eine Last von 40 kg 10 m hoch zu heben, muß, wie wir S. 3 gefunden haben, eine Arbeit von 400 mkg verrichtet werden. Diese Arbeit ist nicht verloren, wir können jederzeit die 400 mkg wieder nutzbringend verwenden, zum Beispiel dann, wenn wir ein Seil über eine Rolle laufen lassen und durch das an dem einen Ende des Seiles befestigte und niedersinkende Gewicht von 40 kg ein am anderen Ende befestigtes, ungefähr ebenso schweres Gewicht in die Höhe ziehen lassen. Ein Stein, der von einer gewissen Höhe herabfällt, besitzt, wenn er unten angekommen ist, ein ganz bestimmtes Arbeitsvermögen, denn die Anziehungskraft der Erde mußte, indem sie den Stein anzog, eine ganz bestimmte Arbeit verrichten. Wie mancher Bergsteiger ist schon durch einen verhältnismäßig kleinen Stein, der von bedeutender Höhe herabrollte, erschlagen worden, weil der kleine Stein durch das Herabfallen allmählich ein so großes Arbeitsvermögen erlangt hatte, daß er beim Auftreffen wie eine Flintenkugel wirkte. Wieviel Unheil richten die im Gebirge herniedergehenden Lawinen an, deren Arbeitsvermögen während des Herabrollens allmählich ins Ungemessene gesteigert ist! — Um zwei Körper, die miteinander in Berührung stehen, gegeneinander zu bewegen, bedarf es einer gewissen Arbeit, diese Arbeit ist nicht verloren, denn die Körper erwärmen sich, und bekanntlich erzeugen wilde Naturvölker auf diese Weise ihr Feuer. Eine aus einer Flinte abgeschossene Bleikugel besitzt ein Arbeitsvermögen, welches ihr durch das Ausdehnungsbestreben der infolge der Entzündung des Pulvers entstandenen Gase mitgeteilt wurde. Je weiter die Kugel fliegt, um so mehr erlahmt ihre Kraft, das Arbeitsvermögen ist scheinbar geringer geworden, aber eben nur scheinbar, es hat sich nur verwandelt. Durch die Reibung haben sich die Luftteilchen, welche von der Kugel verdrängt wurden, erwärmt; beim

Auftreffen des Geschosses, zum Beispiel auf eine Mauer, verliert die Kugel ihre Kraft, das heißt: das ihr innewohnende Arbeitsvermögen wird abermals in andere Formen umgewandelt: sowohl der Teil der Mauer, auf welchen die Kugel trifft, wie die Kugel selbst werden beim Aufschlagen heiß, die Kugel oft so sehr, daß sie zum Schmelzen kommt. Diese Wärme verliert sich allerdings bald, aber nur dadurch, daß sie wieder auf die umliegenden Luftteilchen, auf den Boden usw. übertragen wird. Wenn sich diese Luft- oder Bodenteilchen wieder abkühlen, so kann auch das nur geschehen, indem sie ihre Wärme auf andere Körper, sei es wieder in Form von Wärme, sei es wieder in irgendeiner anderen Form von Arbeitsvermögen übertragen. So zerstreut sich also zwar das Arbeitsvermögen, welches durch das Entzünden des Pulvers im Gewehr- laufe frei geworden ist, in unendlich viele Teile, aber es geht nichts von ihm verloren.

Die Wasserkraft, die wir in den Wasserkraftmaschinen verwenden, ist nichts anderes als umgewandeltes Arbeitsvermögen. Durch die von der Sonne ausgehende Wärme verdunstet und verdampft das auf der Erde befindliche Wasser, es steigt als Wolken in die Höhe, fällt auf die Erde nieder als Regen und bildet hier Quellen, Bäche und Flüsse. Die Steinkohlen, die wir in unseren Dampfkesselanlagen verbrennen, und mit deren Hilfe wir den Dampf für unsere Dampfmaschinen erzeugen, sie sind nichts anderes als seit Jahrtausenden aufgesparte Sonnenwärme.<sup>1)</sup>

Verdichtet man ein in einem Zylinder eingeschlossenes Gas (z. B. Luft), indem man einen dichtschließenden Kolben in den Zylinder hineindrückt, so ist dazu eine gewisse mechanische Arbeit erforderlich. Diese Arbeit verwandelt sich in Wärme, denn das eingeschlossene Gas erwärmt sich, ja diese Wärme kann sogar so weit gesteigert werden, daß brennbare Körper, welche sich außerdem noch in dem Zylinder befinden, entzündet werden. Denken wir uns umgekehrt verdichtetes Gas in einem Zylinder eingeschlossen, der mit einem Kolben verschlossen ist, so wird das Gas das Bestreben haben, den Kolben herauszudrücken. Dieses Heraustreiben des Kolbens erfordert aber Arbeit, und diese Arbeit kann nur dadurch geleistet werden, daß das verdichtete Gas, während es sich ausdehnt, Wärme abgibt, das heißt dadurch, daß die Temperatur während des Ausdehnungsvorganges abnimmt. Auch wenn ein solches verdichtetes Gas in die Außenluft ausströmt, muß seine Temperatur abnehmen, denn während des Ausströmens muß es unter anderem den Druck der Außenluft über-

1) Vgl. auch A. Stein, Die Lehre von der Energie. *AMG*. Bd. 257.

winden, also Arbeit verrichten, und diese Arbeit wird eben gewonnen durch Verbrauch der eigenen Wärme.

**Absolute Temperatur.** Aus dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit folgt schließlich noch die wichtige Tatsache, daß ein Körper dann nicht mehr fähig ist, Arbeit abzugeben, wenn er gar keine Wärme mehr besitzt. Dieser Zustand der Wärmelosigkeit tritt nun aber durchaus nicht etwa dann ein, wenn die Temperatur des Körpers  $0^{\circ}\text{C}$  beträgt, das heißt wenn seine Temperatur der des schmelzenden Eises gleich ist. Ein solcher Körper besitzt immer noch Wärme, ist also immer noch sehr wohl imstande, Wärme d. h. Arbeit abzugeben. Der Zustand der Wärmelosigkeit tritt vielmehr, wie man annimmt, erst dann ein, wenn die Temperatur den sogenannten absoluten Nullpunkt erreicht hat, eine Temperatur, welche  $273^{\circ}$  unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegt.<sup>1)</sup> Es ist nämlich durch Versuche ermittelt worden, daß irgendein Gas, dessen Temperatur  $0^{\circ}$  beträgt, sich um den 273. Teil seines Volumens ausdehnt, wenn seine Temperatur um  $1^{\circ}$  steigt, und daß auch bei jeder weiteren Temperaturzunahme eine entsprechende Vergrößerung, bei jeder Temperaturabnahme dagegen eine entsprechende Verringerung des Volumens eintritt. Nimmt die Temperatur, von  $0^{\circ}\text{C}$  aus gemessen, um  $3^{\circ}$  zu, so beträgt auch die Volumenzunahme  $\frac{3}{273}$ , nimmt die Temperatur um  $3^{\circ}$  unter Null ab, so nimmt auch das Volumen des Gases um  $\frac{3}{273}$  ab. Nach dieser Betrachtung müßte bei einer Temperaturabnahme von  $273^{\circ}$  das Volumen des Gases sich um  $\frac{273}{273}$  vermindert haben, das Volumen also in diesem Augenblicke zu Null geworden sein. Selbstverständlich ist ein solches Verschwindenlassen eines Gases durch weitgehende Abkühlung unmöglich, es stellt vielmehr dieser Zustand, den man den absoluten Nullpunkt nennt, eben nur einen Grenzzustand, eine angenommene Größe dar. Man rechnet aber in der Wärmetheorie stets mit Temperaturen (Wärme-graden), die von diesem Nullpunkte aus gerechnet werden (nicht von dem Gefrierpunkte des Wassers). Sie heißen absolute Temperaturen und werden im folgenden stets mit  $T$  bezeichnet werden, zum Unterschiede von den vom Gefrierpunkte des Wassers aus gerechneten und mit  $t$  bezeichneten Temperaturen. Sagt man also z. B., die absolute Temperatur eines Gases sei  $T = 300^{\circ}$ , so heißt das: die Temperatur beträgt in Graden der gewöhnlichen Skala (nach Celsius)  $t = 300 - 273 = 27^{\circ}\text{C}$ .

1) Vgl. auch S. Alt, Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. *NuG.* Bd. 311.

**Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Boyle.** Denken wir uns 1 kg irgendeines Gases in einem Zylinder eingeschlossen, in welchem es also ein bestimmtes Volumen einnimmt, dessen Größe wir mit  $v$  bezeichnen wollen. Das Gas besitze eine Temperatur  $T$  und drücke dabei auf einen in dem Zylinder beweglichen, dicht schließenden Kolben mit einer Kraft, deren Größe für jeden Quadratmeter Kolbenfläche  $p$  kg betrage. Dann sagt man, das Gas befinde sich in einem gewissen Zustande, und zwar in einem Zustande, welcher durch die Größe jenes Volumens, durch die Höhe der Temperatur, sowie durch die Größe des auf die Flächeneinheit (qm) ausgeübten Druckes vollständig bestimmt ist. In unserem Falle würden wir also sagen, das Gas befinde sich in dem Zustande  $v, p, T$ . Jede Änderung einer oder mehrerer dieser drei Größen bedingt sofort eine Änderung des früheren Zustandes. Lassen wir zum Beispiel die Temperatur zunehmen, indem wir das Gas in dem Zylinder in irgendeiner Weise erwärmen, jedoch so, daß das Volumen sich nicht ändert, das heißt so, daß der in dem Zylinder befindliche Kolben seine frühere Lage beibehält, dann wird die Folge sein, daß die Spannung des Gases sich ändert. Man sagt, das Gas habe eine Zustandsänderung durchgemacht, es ist von dem Zustande  $v, p, T$  in den Zustand  $v, p_1, T_1$  übergeführt worden.

Zur Erklärung der verschiedenen Arten von Zustandsänderungen, welche ein Gas durchmachen kann, denken wir uns die eben beschriebene Anordnung noch in der Weise vervollständigt, daß der Raum hinter dem Kolben mit einem Indikator verbunden ist, der in geeigneter, früher besprochener Weise den Druck des Gases bei jeder Kolbenstellung anzeigt.

1. Zustandsänderung bei gleichbleibendem Volumen. Das Gas geht aus dem Zustande  $p, v, T$  in den Zustand  $p_1, v, T_1$  über. Diese Zustandsänderung tritt dann ein, wenn der in dem Zylinder befindliche Kolben festgehalten und dabei dem Gase Wärme entzogen oder zugeführt wird. Wird dem Gase bei dieser Anordnung Wärme zugeführt, steigt also seine Temperatur, so steigt auch die Spannung, wird ihm Wärme entzogen, so fällt die Spannung, und zwar, wie das von dem französischen Physiker Gay-Lussac zuerst aufgestellte und nach ihm benannte Gesetz besagt, in der Weise, daß (bei gleichbleibendem Volumen) die Spannungen sich verhalten wie die absoluten Temperaturen. Das heißt: wird durch die zugeführte Wärme die absolute Temperatur auf das 2, 3, 4 ... fache gesteigert, so nimmt auch die Spannung des Gases um das 2, 3, 4 ... fache zu und umgekehrt. Da wir uns den im Zylinder

linder befindlichen Kolben festgehalten dachten, so beschreibt der Indikator Abb. 1 S. 9, wie eine einfache Überlegung zeigt, eine senkrechte gerade Linie.

2. Zustandsänderung bei gleichbleibender Spannung. Das Gas geht von dem Zustande  $p, v, T$  in den Zustand  $p, v_2, T_2$  über. Dieser Fall würde dann eintreten, wenn z. B. dem Gase Wärme zugeführt und ihm dabei die Gelegenheit gegeben würde, sich auszudehnen, das heißt, den Kolben in dem Zylinder vorwärts zu schieben, jedoch immer so, daß die Spannung hinter dem Kolben dieselbe bleibt. Hier sagt nun eine andere Form des Gay-Lussacschen Gesetzes, daß (bei gleichbleibender Spannung) die Volumina sich verhalten wie die absoluten Temperaturen; das heißt: wird dem Gase zum Beispiel Wärme zugeführt, und soll dabei die Spannung gleichbleiben, so kann das nur in der Weise geschehen, daß bei einer Erhöhung der absoluten Temperatur um das 2, 3, 4 . . . fache das Volumen des Gases um das 2, 3, 4 . . . fache gesteigert wird. Bei Abkühlung des Gases, das heißt bei Wärmeentziehung, findet natürlich der umgekehrte Fall statt. Der Indikator beschreibt, bei einer Anordnung nach Abb. 1 S. 9, da die Spannung dieselbe bleibt, der Kolben im großen Zylinder aber vorwärts schreitet, eine gerade, wagerechte Linie.

3. Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur. Das Gas geht von dem Zustande  $p, v, T$  in den Zustand  $p_3, v_3, T$  über. Diese Zustandsänderung hat einen ganz bestimmten Namen, man nennt sie die isothermische Zustandsänderung (von den griechischen Worten *isos*, gleich, und *thermos*, die Wärme). Wenn dem Gase Wärme zugeführt werden soll, ohne daß sich seine Temperatur erhöht, so ist das offenbar nur dadurch möglich, daß dem Gase Gelegenheit gegeben wird, sich in geeigneter Weise auszudehnen. Ist dies aber der Fall, das heißt: dehnt sich das Gas, während ihm Wärme zugeführt wird, in der Weise aus, daß seine Temperatur sich nicht ändert, so besagt das zuerst von dem englischen Physiker Boyle ausgesprochene (häufig allerdings nach dem französischen Physiker Mariotte benannte) Gesetz, daß in jedem Augenblicke die Volumina des Gases sich umgekehrt verhalten wie die betreffenden Spannungen. Mit anderen Worten: ist das Volumen des Gases infolge der Wärmezuführung um das 2, 3, 4 . . . fache gewachsen, ohne daß sich dabei die Temperatur des Gases geändert hat, so beträgt die Spannung des Gases nur noch den 2., 3., 4., . . . Teil der anfänglichen Spannung.

Eine solche isothermische Zustandsänderung kann natürlich auch in umgekehrter Weise stattfinden. Wir hatten früher gesehen: wenn man Gas,

welches in einem Zylinder eingeschlossen ist, etwa durch Zusammendrücken mittels eines Kolbens verdichtet, so wird es im allgemeinen erwärmt. Sorgt man jedoch durch entsprechende Wärmeabführung, das heißt durch geeignete Abkühlung des Zylinders dafür, daß während des Verdichtens die Temperatur des Gases sich nicht ändert, so besagt das Boyle'sche Gesetz, daß die ursprüngliche Spannung des Gases um das 2, 3, 4 . . . fache steigt, wenn sich das Volumen um das 2, 3, 4 . . . fache vermindert. Der

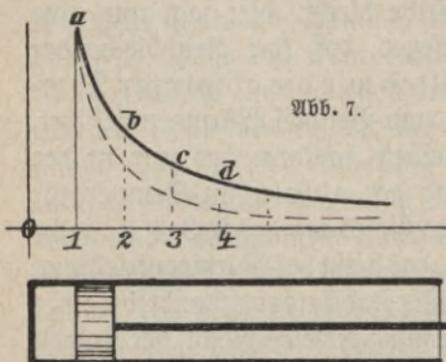


Abb. 7.

Indikator beschreibt in diesem Falle keine gerade Linie mehr, sondern eine ganz bestimmte Kurve, eine sogenannte gleichseitige Hyperbel, man nennt sie wohl auch geradezu die isothermische Linie oder kurz „Isotherme“. Die Gestalt dieser Kurve erhält man leicht durch folgende Überlegung. Es sei  $01$ , Abb. 7, die Größe des ursprünglichen Volumens, und es bezeichne  $1a$  die Größe der dem

Gase im Anfangszustande innewohnenden Spannung. Hat sich das ursprüngliche Volumen verdoppelt, das heißt: hat es die Größe  $02$  angenommen, dann ist die Spannung auf die Hälfte gesunken, sie hat also nur noch die Größe  $2b$ . Hat sich das Volumen verdreifacht, das heißt: hat es die Größe  $03$  angenommen, so ist die Spannung auf den dritten Teil der Größe von  $1a$ , das heißt auf die Größe  $3c$  gesunken usw. Die Verbindung der Punkte  $abc \dots$  gibt dann also die Gestalt der isothermischen Kurve und man kann durch einfaches Hinauftragen irgendeiner Kolbenstellung sofort abmessen, welches die zugehörige Spannung des Gases in dem betreffenden Augenblicke ist.

4. Zustandsänderung ohne Zuführung oder Abführung von Wärme. Für diesen Fall müssen wir uns das Gas in einem Zylinder eingeschlossen denken, dessen Wandungen gegen Wärme vollständig undurchlässig sind. Das Gas besitze nun den Anfangszustand  $v, p, T$  und es werde, etwa dadurch, daß wir den Kolben aus dem Zylinder herausziehen oder in den Zylinder stärker hineindrücken, in einen anderen Zustand übergeführt. In diesem Falle werden sich sowohl Volumen wie Spannung und Temperatur des Gases ändern, das heißt: das Gas wird aus dem Zustande  $v, p, T$  in den Zustand  $v_4, p_4, T_4$  übergehen. Man

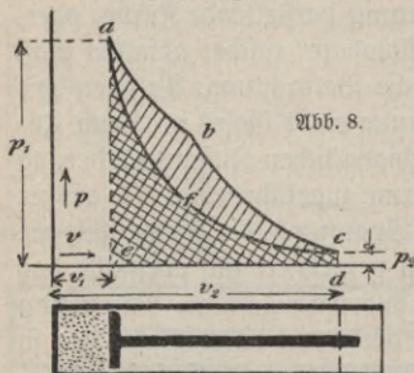
nennt diese Zustandsänderung eine adiabatische Zustandsänderung (von dem griechischen Worte *adiabaino*, nicht hindurchdringen). Diese Zustandsänderung geht nach einem ganz bestimmten Gesetze vor sich, welches jedoch weniger einfach ist als die Gesetze von Boyle und Gay-Lussac. Der Indikator beschreibt in diesem Falle ebenfalls eine Kurve, welche der isothermischen Kurve ähnlich ist, aber sich rascher der Wagerechten nähert. Ihre Gestalt ist z. B. für Luft in Abb. 7 punktiert angedeutet.

Daß die die adiabatische Zustandsänderung darstellende Kurve, oder, wie man sich kürzer ausdrückt, daß die „Adiabate“ rascher abfallen muß als die Isotherme, zeigt auch eine einfache Betrachtung. Nehmen wir an, es handle sich um eine Zustandsänderung eines Gases in einem Zylinder. Wir hatten gesehen, daß bei der adiabatischen Zustandsänderung das Gas sich ausdehnt, ohne daß ihm Wärme zugeführt wird. Je größer das Volumen wird, um so mehr sinkt die Spannung, die Kurve fällt ab. Bei der isothermischen Zustandsänderung vergrößert sich ebenfalls das Volumen, gleichzeitig wird dem Gase aber Wärme zugeführt. Nun hatten wir gesehen, daß bei gleichem Volumen der Druck eines Gases um so höher ist, je höher die Temperatur des Gases ist, es muß also bei der Isotherme, bei welcher dem Gase Wärme zugeführt wird, an derselben Stelle des Kolbens, das heißt bei demselben Volumen, der Druck des Gases größer sein als bei der Adiabate, was unser Diagramm Abb. 7 erkennen läßt.

Für alle Zustandsänderungen der Gase gemeinsam gilt endlich noch ein wichtiges Gesetz, welches eine Vereinigung der bei den früheren Zustandsänderungen genannten Gesetze von Boyle und von Gay-Lussac darstellt und welches danach das Gay-Lussac-Boylesche Gesetz genannt wird. Dieses Gesetz besagt, daß bei irgendeiner Zustandsänderung in jedem Augenblicke das Produkt aus der Spannung, gemessen in kg für das  $q_m$ , und dem Volumen, welches ein kg des Gases einnimmt, dividiert durch die in diesem Augenblicke herrschende absolute Temperatur, also der Ausdruck  $\frac{p \cdot v}{T}$  bei jedem Gase eine bestimmte, und zwar bei diesem Gase stets gleichbleibende Größe, die sogenannte Gas-konstante, darstellt.

**Kreisprozeß.** Die eben erläuterten Zustandsänderungen lassen sich nun in beliebiger Reihenfolge einem Gase mitteilen. Betrachten wir zum Beispiel noch einmal ein Diagramm ähnlich dem auf Seite 15 dargestellten und gehen dabei von dem Punkte *b* aus. Wir nehmen an, in

diesem Punkte befinde sich das Gas in dem Zustande  $v, p, T$ . Durch plötzliche Wärmezuführung, das heißt durch Wärmezuführung bei gleichbleibendem Volumen, gelange es in dem Punkte  $c$  in den Zustand  $v, p_1, T_1$ . Von  $c$  bis  $d$ , wollen wir annehmen, werde Wärme weder zugeführt noch abgeführt, das heißt, das Gas mache eine adiabatische Zustandsänderung durch und werde dadurch allmählich in den im Punkte  $d$  herrschenden Zustand  $v_2, p, T_2$  übergeführt. Von diesem Punkte an sorgen wir in geeigneter Weise dafür, daß dem Gase Wärme entzogen wird und zwar so, daß seine im Punkte  $d$  herrschende Spannung sich nicht ändert. Sein Volumen nimmt wieder ab und das Gas gelangt schließlich wieder in den Zustand  $v, p, T$ , von dem wir ausgegangen waren.



Hat ein Gas eine Reihe solcher Zustandsänderungen durchgemacht und zwar in der Weise, daß es dabei, wie in dem eben besprochenen Beispiele,

in seinen Anfangszustand zurückkehrt, so sagt man, das Gas habe einen Kreisprozeß durchlaufen und es ist, z. B. an Hand des eben besprochenen Beispiels jener Gasmaschine, leicht einzusehen, daß durch eine fortwährende Wiederholung solcher Kreisprozesse in einer Kraftmaschine fortlaufend Wärme in Arbeit umgewandelt werden kann. Eine einfache Überlegung zeigt nun aber auch, daß es erstens einmal eine große Anzahl solcher Kreisprozesse geben muß, denn es wird sich offenbar durch eine geeignete Reihenfolge der obengenannten Zustandsänderungen der Anfangszustand in sehr verschiedener Weise wieder erreichen lassen. Es ergibt sich aber auch noch etwas anderes: Wenn wir fortdauernd Arbeit erzeugen wollen, dadurch, daß wir ein Gas einen Kreisprozeß durchmachen lassen, so kann dies nicht etwa bloß dadurch geschehen, daß wir dem Gase Wärme zuführen, sondern wir müssen stets wenigstens einen Teil dieser Wärme dabei auch wieder abgeben. Ein Beispiel wird das eben Gesagte erläutern. Wir wollen uns (Abb. 8) einen Zylinder denken, in welchem 1 kg eines Gases vom Volumen  $v_1$  und der Spannung  $p_1$  eingeschlossen ist. Dadurch, daß wir auf irgendeine Weise Wärme zuführen, dehne sich das Gas zunächst isothermisch von  $a$  bis  $b$  und nachher ohne weitere Wärmezuführung, also adiabatisch von  $b$  bis  $c$  aus, so daß es schließlich das Volumen  $v_2$  und die Spannung  $p_2$  besitzt. Die von rechts

in seinen Anfangszustand zurückkehrt, so sagt man, das Gas habe einen Kreisprozeß durchlaufen und es ist, z. B. an Hand des eben besprochenen Beispiels jener Gasmaschine, leicht einzusehen, daß durch eine fortwährende Wiederholung solcher Kreisprozesse in einer Kraftmaschine fortlaufend Wärme in Arbeit umgewandelt werden kann. Eine einfache Überlegung zeigt nun aber auch, daß es erstens einmal eine große Anzahl solcher Kreisprozesse geben muß, denn es wird sich offenbar durch eine geeignete Reihenfolge der obengenannten Zustandsänderungen der Anfangszustand in sehr verschiedener Weise wieder erreichen lassen. Es ergibt sich aber auch noch etwas anderes: Wenn wir fortdauernd Arbeit erzeugen wollen, dadurch, daß wir ein Gas einen Kreisprozeß durchmachen lassen, so kann dies nicht etwa bloß dadurch geschehen, daß wir dem Gase Wärme zuführen, sondern wir müssen stets wenigstens einen Teil dieser Wärme dabei auch wieder abgeben. Ein Beispiel wird das eben Gesagte erläutern. Wir wollen uns (Abb. 8) einen Zylinder denken, in welchem 1 kg eines Gases vom Volumen  $v_1$  und der Spannung  $p_1$  eingeschlossen ist. Dadurch, daß wir auf irgendeine Weise Wärme zuführen, dehne sich das Gas zunächst isothermisch von  $a$  bis  $b$  und nachher ohne weitere Wärmezuführung, also adiabatisch von  $b$  bis  $c$  aus, so daß es schließlich das Volumen  $v_2$  und die Spannung  $p_2$  besitzt. Die von rechts

oben nach links unten gestrichelte Fläche  $abcde$  stellt dann die von dem Gase während seiner Ausdehnung geleistete Arbeit dar, welche mit Hilfe des Kolbens in irgendeiner Weise nutzbringend verwendet, also z. B. vermöge eines Kurbelgetriebes in das Schwungrad einer Maschine hineingeschickt werden könnte. Da nun aber das Gas einen Kreisprozeß durchmachen soll, also wieder auf das Volumen  $v_1$  und die Spannung  $p_1$  gebracht werden soll, so ist dazu, wie man aus der Abbildung erkennt, eine Arbeit nötig, welche z. B. durch die von links nach rechts gestrichelte Fläche  $dcf ae$  dargestellt wird. Man sieht also, wie ein Teil der vorhin von dem Gase geleisteten Arbeit (und demgemäß auch ein Teil der vorher aufgewendeten Wärme) wieder aufgewendet, gewissermaßen wieder an die Natur zurückgeliefert werden muß, um das Gas wieder auf seinen Anfangszustand zu bringen, von dem aus der neue Kreisprozeß beginnen soll. Die Tatsache, daß bei fortlaufender Umwandlung von Wärme in Arbeit immer nur ein Teil der zugeführten Wärme in nutzbare Arbeit umgewandelt werden kann, ist eine Ausdrucksform für den sogenannten **zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie**.

Es könnte so scheinen, als ob die eben angestellten Betrachtungen eine Einschränkung des früher (S. 16) angeführten ersten Hauptsatzes darstellen, des Satzes nämlich, daß sich mit 1 WE stets eine Arbeit von 427 mkg erreichen lasse. Diese Einschränkung ist natürlich nur scheinbar. Bleiben wir bei dem eben besprochenen Beispiele, so erkennt man, daß durch die dem Gase zugeführte Wärme tatsächlich eine Arbeit geleistet worden ist, welche, dargestellt durch die von rechts oben nach links unten gestrichelte Fläche  $abcde$ , der durch den ersten Hauptsatz festgelegten Größe entsprechen würde. Nur setzt sich eben diese Arbeit aus zwei Teilen zusammen: erstens aus der nach außen abgegebenen Arbeit, dargestellt durch die einfach gestrichelte Fläche, und zweitens aus der zur Herstellung des Anfangszustandes aufgewendeten, nach außen also nicht abgegebenen Arbeit, dargestellt durch die doppelt gestrichelte Fläche  $dcf ae$ . Nun könnte jemand sagen, es wäre doch denkbar, daß man das Gas sich sehr weit ausdehnen läßt, so daß seine Temperatur bei  $c$  weit unter  $0^\circ\text{C}$  beträgt, und man könnte nun während des Kolbenrückganges den Zylinder vermöge irgendeiner Kälteflüssigkeit, deren Herstellung ja heute möglich ist, dauernd auf sehr niedriger Temperatur halten. Dann würde auch während des Kolbenrückganges Temperatur und Druck des eingeschlossenen Gases dauernd sehr tief liegen und dadurch könnte die doppeltgestrichelte Fläche sehr klein, ja sogar fast gleich Null gemacht werden. —

An sich wäre das natürlich möglich und doch wäre dadurch gar nichts gewonnen! Das wäre nämlich gerade so, als wenn jemand die Leistung eines Wasserfalles dadurch vergrößern wollte, daß er das durch den Wasserfall getriebene Wasserrad (oder die Wasserturbine) auf den Grund eines sehr tiefen Brunnens setzen wollte. Offenbar hätte er dadurch gar nichts gewonnen; denn wenn das Wasserrad nicht ersaufen sollte, so müßte er das Wasser doch wieder auf die Erdoberfläche hinauspumpen, er müßte also durch das Herauspumpen gerade wieder so viel Arbeit leisten, als er durch das Tieferstellen des Wasserrades an Arbeit gewonnen hätte. Genau dasselbe ist aber bei dem obigen Beispiele der Fall. Man kann heutzutage allerdings sehr tiefe Temperaturen erzeugen, entsprechend dem Graben eines sehr tiefen Brunnens. Aber dieses Erzeugen sehr tiefer Temperaturen ist nur möglich durch Aufwenden von Arbeit, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man einmal in eine Eisfabrik geht und sich dort ansieht, wie die Maschinen zur Herstellung des Eises durch große Dampfmaschinen (also unter Aufwand von Wärme!) angetrieben werden. Man sieht also, ein künstliches Abkühlen des Zylinders auf sehr tiefe Temperaturen entspricht einem Aufwande von Arbeit, eine Ersparnis an Arbeit wird also bei der oben erwähnten künstlichen Abkühlung nicht erreicht.

**Thermischer Wirkungsgrad.** Kennt man die Größe der zugeführten Wärmemenge, sowie die Größe der abgeführten Wärmemenge, so läßt sich daraus nach dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit mit Leichtigkeit die Arbeit berechnen, welche bei dem Durchlaufen eines solchen oben erwähnten Kreisprozesses theoretisch geleistet wurde. Die zugeführte Wärme wird sich nun wohl meist ziemlich genau bestimmen lassen, dagegen wird es in den meisten Fällen unmöglich sein, durch unmittelbare Messung die Größe der abgeführten Wärmemenge festzustellen. Sie ergibt sich jedoch gewöhnlich auf einem kleinen Umwege einfach dadurch, daß man aus dem Indikator diagramm die geleistete Arbeit bestimmt, diese Arbeit nach dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit in Wärmeeinheiten umrechnet und diese so erhaltene Wärmemenge von der im ganzen aufgewendeten, das heißt zugeführten Wärmemenge abzieht. Das Verhältnis dieser in Arbeit umgewandelten zu der im ganzen aufgewendeten Wärmemenge, also eine Zahl, die stets kleiner als 1 ist, nennt man den thermischen Wirkungsgrad des Kreisprozesses; er möge im folgenden mit  $\eta$  bezeichnet werden. Ein Beispiel wird diese Betrachtung erklären. Es liege eine Gas-

maschine vor, deren indizierte Leistung 10 PS<sub>i</sub> und deren stündlicher Leuchtgasverbrauch für jede PS<sub>i</sub> 0,5 cbm beträgt. Hat man nun z. B. festgestellt, daß 1 cbm des verwendeten Leuchtgases bei vollkommener Verbrennung 5000 WE entwickelt, so ist in der Gasmaschine mit 2500 WE eine Stunde lang 1 PS, oder, wie man sagt, eine Stundenpferdestärke (Std-PS) geleistet worden. Nun entspricht aber, wie sich aus den früheren Erörterungen ergibt, einer Std-PS eine Arbeit von  $75 \times 60 \times 60 = 270\,000$  mkg, oder, da immer 427 mkg einer Wärmeeinheit gleichwertig sind, eine Wärmemenge von  $270\,000 : 427 = 632$  WE. Aufgewendet wurden nun 2500 WE, in Arbeit wurden umgesetzt 632 WE, mithin würde der thermische Wirkungsgrad in diesem Falle  $\eta_t = \frac{632}{2500} = 0,253$  sein. Mit anderen Worten: nur etwa 25 % der zugeführten Wärmemenge werden in Arbeit umgesetzt, während nahezu 75 % unbenuzt aus der Maschine entweichen.

**Wirtschaftlicher Wirkungsgrad.** Wir hatten früher gesehen, daß die Arbeit, welche eine solche Maschine wirklich nutzbringend abzugeben vermag, wiederum nur einen Teil dieser PS<sub>i</sub> beträgt; für die Technik, das heißt für die wirtschaftliche Ausnutzung der Maschine, kommt natürlich auch nur dieser Teilbetrag zur Geltung. Nehmen wir in unserem Falle einen mechanischen Wirkungsgrad von  $\eta_m = 0,8$  an, so beträgt der tatsächliche oder, wie wir ihn nennen wollen, der wirtschaftliche Wirkungsgrad der Maschine

$$\eta_w = \eta_t \cdot \eta_m = 0,253 \cdot 0,8 = 0,2024.$$

Mit anderen Worten: nur etwa 20 % oder  $\frac{1}{5}$  der wirklich aufgewendeten Wärmemenge wird in nutzbringend abzugebende Arbeit umgesetzt, während 80 % oder  $\frac{4}{5}$  für die Ausnutzung verloren sind.

Die Größe des wirtschaftlichen Wirkungsgrades  $\eta_w$  ergibt sich auch noch, wenn wir das eben besprochene Beispiel beibehalten, auf folgende Weise: Braucht die Maschine in der Stunde für jede PS<sub>i</sub> 0,5 cbm Gas und ist der mechanische Wirkungsgrad der Maschine  $\eta_m = 0,8$ , so braucht die Maschine also für jede Nutzpferdestärke (PS<sub>n</sub>)  $0,5 : 0,8 = 0,625$  cbm Gas, und es ergibt sich somit

$$\eta_w = \frac{632}{0,625 \cdot 5000} = \frac{632}{3125} = 0,2024.$$

## Zweiter Abschnitt.

Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen  
über die älteren.

## Erstes Kapitel.

## Die älteren Wärmekraftmaschinen.

**Entwicklung der Dampfmaschine.** Wenn man sich den gewaltigen Aufschwung vor Augen führt, den die Industrie, fast möchte man sagen in der ganzen Welt im Laufe des letzten Jahrhunderts genommen hat, und wenn man sich darüber klar zu werden versucht, was denn den Anstoß zu diesem in der Geschichte einzig dastehenden Aufblühen gegeben hat, so wird man immer auf eine Erfindung geführt, deren Anfänge schon in die zweite Hälfte des 17. Jahrhunderts zurückreichen, auf die Erfindung der Dampfmaschine. Nicht ein einzelner ist es, dem wir diese Erfindung zu verdanken haben, sondern es bedurfte des Wirkens und rastlosen Schaffens vieler, ehe die erste Wärmekraftmaschine, die Dampfmaschine, durch den Schotten James Watt um die Mitte des 18. Jahrhunderts jene Ausbildung erhielt, die ihr im Laufe der Zeit zu einem überwältigenden Siegeszuge durch alle Länder der Erde verholfen hat; ja man kann wohl sagen, daß durch die Erfindung und Ausgestaltung der Dampfmaschine eine Industrie im eigentlichen Sinne des Wortes überhaupt erst geschaffen worden ist. Mit der Dampfmaschine holen wir die Schätze der Erde, die mannigfachen Arten von Erzen und Gesteinen, aus ihren Tiefen hervor, die Dampfmaschine muß dazu mitwirken, jene Erze und Gesteine in eine für die Industrie brauchbare Gestalt umzuwandeln, mit ihrer Hilfe endlich geben wir auch heute noch in der Mehrzahl der Fälle den verschiedenen Metallen und Stoffen die Formen, in denen sie der Mensch zu allen Zwecken des täglichen Lebens verwendet. Die Dampfmaschine allein war es, die in ihrer Gestalt sowohl als Schiffsmaschine wie als Lokomotive Verkehr und Handel in großartigster Weise zum Aufblühen brachte, mit ihrer Hilfe durchheilen wir heute Strecken in ebensoviele Stunden und Tagen, als unsere Vorfahren manchmal Tage und Monate dazu brauchten.

So sieht es fast wie Undankbarkeit aus, wenn der Mensch sich heute von diesem treuen Freunde, der ihm über ein Jahrhundert lang seine Kräfte gewidmet hat, der ihn auf eine solch hohe Stufe der Vollkommenheit hat

bringen helfen, abzutenden beginnt und sich nach einem neuen, noch besseren Freunde, nach anderen, neueren, besseren Wärmekraftmaschinen umsieht. Aber nicht Undankbarkeit ist es, nicht die Sucht nach etwas Neuem, Andersartigem, nein der Trieb der Selbsterhaltung ist es, der den Menschen dazu zwingt, denn in Wirklichkeit gibt es kaum eine Wärmekraftmaschine, welche mit dem ihr zur Verfügung stehenden Kapital, mit der Wärme, derartig verschwenderisch umgeht, wie gerade die so hochentwickelte, Jahrhunderte alte Dampfmaschine.

Eine kleine Rechnung möge diese Behauptung beweisen. Als Mittel zur Erzeugung des Dampfes dient in unseren Dampfmaschinenanlagen in den weitaus meisten Fällen die Steinkohle, deren Heizwert, das heißt deren Wärmeentwicklung bei vollständiger Verbrennung, im Mittel etwa 7000 WE für jedes Kilogramm Steinkohle beträgt. Mit anderen Worten: durch vollständige Verbrennung von 1 kg Steinkohle (d. h. einem Würfel von nur etwa 9 cm Seitenlänge!) ließe sich, wenn es möglich wäre die ganze Wärme in Arbeit umzusetzen, nach dem Satze von der Erhaltung der Energie eine Arbeit von  $427 \times 7000 = 298900$  mkg verrichten. Sehen wir zu, wieviel von dieser Arbeit in der Dampfmaschine wirklich geleistet wird, und betrachten wir zu diesem Zwecke zwei Gattungen von Dampfmaschinenanlagen, nämlich einmal solche von ganz geringer Leistung, auf deren Ausführung in den meisten Fällen keine allzu große Sorgfalt verwendet wird, und ferner Dampfmaschinenanlagen für die größten heutzutage vorkommenden Leistungen, bei deren Entwurf und Herstellung jede nur denkbare Rücksicht auf möglichst große Vollkommenheit genommen wird.

Aus zahlreichen Versuchen ergibt sich, daß eine solche kleine Dampfmaschinenanlage im Mittel etwa 5 kg Kohle in der Stunde für jede Pferdestärke verbraucht. Eine Std-PS („Stundenpferdestärke“) entspricht aber, wie wir schon früher (S. 27) gesehen hatten, einer Leistung von  $75 \times 60 \times 60 = 270000$  mkg, oder einer in Arbeit, und zwar hier in wirklich nutzbringende Arbeit umgewandelten Wärmemenge von  $\frac{270\,000}{427} = 632$  WE. Um diese Arbeit in der Dampfmaschine zu erzeugen, wurden aber 5 kg Kohle verbrannt mit einer Wärmeentwicklung von  $5 \times 7000 = 35\,000$  WE, das heißt: es beträgt der wirtschaftliche Wirkungsgrad dieser Klasse von Dampfmaschinenanlagen

$$\eta_w = \frac{632}{35\,000} = 0,018!$$

Noch nicht einmal 2% der aufgewendeten Wärmemenge werden wirklich in Arbeit umgesetzt, etwa 98% der verbrannten Kohle gehen für die Wirkung in der Dampfmaschine verloren!

Etwas günstiger stellt sich ja das Verhältnis bei der zweiten Klasse, bei unseren größten und besten heutigen Dampfmaschinenanlagen, aber auch hier ist das Ergebnis der Rechnung ein sehr trauriges. Unsere besten heutigen Dampfmaschinenanlagen verbrauchen etwa 0,5 kg Kohle entsprechend 3500 WE für jede Std-PS<sub>n</sub>. Das ergibt aber einen wirtschaftlichen Wirkungsgrad von

$$\eta_w = \frac{632}{3500} = 0,18,$$

das heißt: selbst hier werden nur etwa 18 % der zugeführten Wärme in wirklich nutzbringende Arbeit umgesetzt, während 82 % für die Ausnutzung verloren sind!

Diese Rechnungen sind auch geeignet, zu zeigen, von welcher hervorragender Wichtigkeit die Grundsätze der „Mechanischen Wärmetheorie“, das heißt die uns bekannten Sätze von dem mechanischen Wärmewert und von der Erhaltung der Energie für die Technik sein mußten. Sie zeigen uns, wie wir eben gesehen hatten, daß unsere besten, mit allen Feinheiten ausgestatteten Dampfmaschinen eine außerordentliche Verschwendung mit unseren Wärmevorräten treiben, sie zeigen, daß wir bei der Ausnutzung dieser Wärmevorräte noch ungeheuer weit von der Vollkommenheit entfernt sind, und sie stacheln uns dadurch an, dieser Vollkommenheit immer kraftvoller zuzustreben. In der Tat sind auch die neuesten Wärmekraftmaschinen allein dieser Erkenntnis entsprungen, ihre Erfindung ist eine unmittelbare Folge der Auffindung der Gesetze der mechanischen Wärmetheorie.

**Der Grund für die schlechte Wärmeausnutzung** in der Dampfmaschinenanlage ist ein mehrfacher: Zunächst ist schon die Erzeugung des Dampfes im Dampfkessel mit verhältnismäßig großen Wärmeverlusten verbunden; durch unvollständige Verbrennung der Kohle auf dem Roste, durch die aus dem Schornstein entweichenden Gase, deren Temperatur der Zugerzeugung wegen eine hohe sein muß, sowie durch Wärmestrahlung, gehen selbst bei den vollkommensten Anlagen 20 % der erzeugten Wärme und mehr für die Ausnutzung in der Dampfmaschine verloren. Weitere Verluste treten ein durch Niederschlagen des Dampfes in den zur Maschine hinführenden Rohrleitungen sowie im Dampfzylinder selbst, aber alle diese Verluste sind verhältnismäßig gering gegenüber den Wärmeverlusten, welche in dem ganzen Grundgedanken der Verwendung des Wasserdampfes zur Kräfteerzeugung begründet sind. Nehmen wir eine sogenannte Auspuffmaschine an, zu deren Betrieb etwa Dampf von 6 atm Spannung verwendet werde. Der Dampf tritt also mit einer Spannung

von 6 atm in den Dampfzylinder ein, verliert hier durch allmähliche Ausdehnung seine Spannung und damit seine hohe Temperatur und entweicht schließlich als Dampf von 1 atm aus dem Zylinder ins Freie. Dieser Dampf enthält nun aber noch seine gesamte Verdampfungswärme, das heißt diejenige Wärme, welche vorher aufgewendet werden mußte, um das Wasser aus dem flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand überzuführen, und gerade die Unmöglichkeit, diese Verdampfungswärme für die Umwandlung in Arbeit nutzbar zu machen, ist es, welche hier eine so außerordentlich schlechte Wärmeausnützung ergibt.

Etwas besser ist in dieser Beziehung die mit Kondensation arbeitende Dampfmaschine, jedoch enthält auch hier der aus dem Zylinder in den Kondensator eintretende Dampf noch den weitaus größten Teil der zu seiner Erzeugung aufgewendeten Wärme, die somit für die Umsetzung in Arbeit verloren geht.<sup>1)</sup>

Nun läßt sich allerdings der sogenannte Auspuffdampf sowie auch das durch Benutzung bei der Kondensation erwärmte Wasser zu anderweitigen Zwecken, zum Kochen, Heizen und dergleichen verwenden, dies hat aber mit der Ausnützung in der Dampfmaschine gar nichts zu tun, für die Ausnützung in der Dampfmaschine, das heißt für die Umsetzung in Arbeit, ist diese Wärme, wie schon erwähnt, verloren.

Mit der schlechten Wärmeausnützung sind aber die üblen Eigenschaften der Dampfmaschine keineswegs erschöpft. Schon die Betrachtung auf Seite 29 zeigte, daß die an und für sich schon schlechte Wärmeausnützung um so schlechter wird, je geringer die Leistung der Dampfmaschine ist, so daß die Dampfmaschine als sogenannte Kleinkraftmaschine, das heißt als Maschine für kleine Arbeitsleistungen (1—2 PS) nur schlecht zu gebrauchen ist. Hierzu kommt noch der Übelstand, daß jede Dampfmaschinenanlage an die Erfüllung lästiger polizeilicher Vorschriften gebunden ist; ein im Betriebe stehender Dampfkessel ist die Quelle einer steten Gefahr für die Nachbarschaft, und schließlich darf auch der Umstand nicht unerwähnt bleiben, daß der ganze Betrieb einer Dampfmaschinenanlage immer mit einer gewissen Umständlichkeit verknüpft ist: die Anheizung des Kessels erfordert eine beträchtliche Zeit; soll also die Maschine stets betriebsbereit sein, so muß der Kessel mitunter lange Zeit hindurch angeheizt stehen bleiben, wodurch dann wieder starke Wärmeverluste, das heißt Geldverluste, unvermeidlich sind.

1) Genaueres hierüber siehe in des Verfassers „Dampfmaschine I“ *MuG.* Bd. 393.

**Warum baut man heutzutage noch Dampfmaschinen?** Diese Frage liegt nahe; ihre genaue Beantwortung kann jedoch erst später gegeben werden, wenn die einzelnen Eigenschaften der neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen) etwas eingehender erörtert sind, trotzdem läßt sich hier schon so viel sagen, daß die Gründe mannigfacher Natur sind. Zunächst nämlich fehlt den Gasmaschinen, bis jetzt wenigstens, der hohe Grad der Betriebsicherheit und Anpassungsfähigkeit an alle nur denkbaren Betriebsverhältnisse, welcher gerade die Dampfmaschinen (in der Form der Kolbendampfmaschinen) vor allen anderen Kraftmaschinen in so hervorragender Weise auszeichnet. Dann aber ist der Grund auch ein wirtschaftlicher. Das Betriebsmittel der Dampfmaschine, die Steinkohle, ist eben immer noch ein so billiges, daß die meisten Betriebsmittel der neueren Wärmekraftmaschinen, wie Leuchtgas, Petroleum, Benzin usw., trotz der erheblich besseren Wärmeausnutzung in der Mehrzahl der Fälle den Betrieb viel unwirtschaftlicher, das heißt teurer gestalten, als dies unter Verwendung der Steinkohle der Fall ist, deren Wärme doch in den Dampfmaschinenanlagen, wie oben gezeigt, in so unvollkommener Weise ausgenutzt wird.

Zum Vergleiche denke man etwa an den verschiedenen Nährwert von Speisen. Man wird nicht immer nur die Speisen wählen können, welche die beste „Ausnützung“ ergeben, das heißt deren Nährwert am größten ist, sondern man wird sich auch nach dem Preise der einzelnen Speisen zu richten haben und häufig genug solche Speisen wählen, die zwar einen verhältnismäßig geringeren Nährwert haben, dafür aber in der Beschaffung billiger sind.

Genauere Vergleiche zwischen den Betriebskosten der einzelnen Wärmekraftmaschinen sollen weiter unten bei der Besprechung der Gasmaschine angestellt werden.

**Heißluftmaschinen.** Die schlechte Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine war es vor allen Dingen, welche in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts den Schweden Ericson auf den Gedanken brachte, eine Wärmekraftmaschine zu bauen, in welcher nicht der Wasserdampf, sondern einfach Luft als Träger des Arbeitsvermögens verwendet werden sollte. Ericson brachte auch in der Tat eine solche Maschine zustande und erregte damals damit ein ganz gewaltiges Aufsehen. Die Wirkungsweise dieser, sowie aller späteren sogenannten Heißluftmaschinen war im wesentlichen folgende: Es wurde Luft in einen Zylinder eingeführt, hier in geeigneter

Weise durch Erhitzung auf eine höhere Spannung gebracht, die dazu verwendet wurde, gerade so wie in einer Dampfmaschine einen Kolben vorwärts zu treiben. Dann wurde während des Kolbenrückganges die Luft abgekühlt, ihre Spannung erniedrigte sich, worauf das Spiel von neuem begann.

Der Hauptvorteil aller dieser Maschinen bestand und besteht in dem Fortfall des Dampfkessels. Die Maschine wurde dadurch wesentlich einfacher und es verschwanden alle die Übelstände, die mit der Verwendung des Wasserdampfes als Kraftträger unvermeidlich verbunden sind<sup>1)</sup>, vor allen Dingen also die beträchtlichen Wärmeverluste, die in der Unmöglichkeit der völligen Ausnutzung der Verdampfungswärme des Dampfes begründet sind. Der Erfolg, den Ericson mit seinen ersten kleinen Maschinen hatte, veranlaßte ihn zu großartigen Plänen. Er wollte nichts weniger als eine riesige Luftmaschine von 1000 PS bauen und mit ihr einen großen Dzeandampfer treiben. Die Maschine wurde auch in der Tat gebaut, aber es stellte sich sehr bald heraus, daß erstens die 1000 PS auch nicht annähernd erreicht wurden, dann aber, daß der Betrieb der Maschine eine ganz gewaltige Menge Kohlen verschlang, so daß sie mit einer gleich großen Dampfmaschine nicht in Wettbewerb treten konnte. Auch alle späteren Verbesserungen änderten an dieser Tatsache nichts: die Heißluftmaschine blieb bis auf den heutigen Tag auf eine ganz geringe Leistung beschränkt, aber gerade hierin lag schließlich ein Vorteil gegenüber der Dampfmaschine, deren Verwendung für kleine und sehr kleine Leistungen aus den oben erwähnten Gründen unzweckmäßig ist.

Der Hauptgrund, warum die Heißluftmaschine nur für kleine Leistungen anwendbar ist, liegt darin, daß es unmöglich ist, atmosphärische Luft durch äußere Erwärmung allein auf eine hohe Spannung zu bringen. Dies läßt sich leicht aus der Betrachtung des früher (S. 20) erwähnten Gesetzes von Gay-Lussac erkennen. Nach diesem Gesetze verhalten sich nämlich, wie wir gesehen hatten, bei gleichem Volumen die Spannungen der Luft wie die absoluten Temperaturen. Das heißt: wollen wir eine in einem Zylinder eingeschlossene Luftmenge von Außenluftspannung durch äußerliches Erhitzen auf 2, 3, 4 . . . atm Spannung bringen, so müssen wir ihre absolute Temperatur auf das 2, 3, 4 . . . fache erhöhen. Nehmen wir an, die Luft besäße im Anfangszustande eine Temperatur von 0° C, das heißt eine absolute Temperatur von 273°, so müßten wir ihre Temperatur auf  $2 \times 273$ ,  $3 \times 273$  . . ., das heißt auf 546, 819 . . .

1) Vgl. Anmerkung S. 31.

Grad absolut oder auf 273, 546 . . . Grad C bringen. Für solch hohe Temperaturen besitzen wir aber keine Stoffe, die sich für die Ausführung von Maschinen verwenden ließen, und damit ist die Unmöglichkeit bewiesen, in Heißluftmaschinen hohe Spannungen anzuwenden. Wollte man trotzdem große Leistungen erzielen, so müßten die Maschinen so gewaltige Abmessungen erhalten, daß dadurch ein etwa errungener Vorteil gegenüber anderen Wärmekraftmaschinen wieder verloren ginge. Heutzutage sind daher die Heißluftmaschinen fast vollständig verschwunden, sie sind durch die zweckmäßigeren Gasmaschinen verdrängt worden und werden nur noch für ganz kleine Leistungen, zu Gartenbewässerung, Antrieb von kleinen Springbrunnen und dgl., von einigen wenigen Firmen ausgeführt.

## Zweites Kapitel.

### Die neueren Wärmekraftmaschinen. (Gasmaschinen.)

Der Versuch, die alte Dampfmaschine mit ihren schon früh erkannten Mängeln durch eine andere Wärmekraftmaschine, durch die Heißluftmaschine, zu verdrängen, war mißlungen. Mit Begeisterung war der Versuch überall aufgenommen worden, aber nur zu bald mußte man sich überzeugen, daß die Dampfmaschine noch einmal einen ihr gefährlichen Nebenbuhler siegreich aus dem Felde geschlagen hatte. Da trat an Stelle der Heißluftmaschine ein anderer Wettbewerber auf in der Gestalt der von dem Franzosen Lenoir erbauten ersten wirklich leistungsfähigen Gasmaschine. Zwar schien es, als wenn die Dampfmaschine auch hier noch einmal Siegerin bleiben sollte, denn nach den ersten überschwenglichen Lobpreisungen dieser neuen Wärmekraftmaschine war die Stimmung sehr bald in das Gegenteil umgeschlagen. Die Maschine hatte sich, bei mancherlei Vorzügen, im Betriebe viel unzuverlässiger und namentlich kostspieliger gezeigt als die altbewährte Dampfmaschine, und so wurde die neue Maschine sehr bald ebenso heftig angefeindet, als sie vorher gepriesen worden war.

Während aber der Sieg über die Heißluftmaschine ein vollkommener und dauernder gewesen und geblieben war, zeigte es sich sehr bald, daß hier doch in Gestalt der Gasmaschine für die Dampfmaschine ein Feind aufgetreten war, dessen Erfolge von Jahr zu Jahr zunahmen. Heute schon hat die Gasmaschine in ihren verschiedenen Ausführungsformen im Verein mit ihren Unterarten, den Benzin-, Petroleum- und Spiritusmaschinen die Dampfmaschine zum Teil verdrängt, und es scheint fast, als wenn

alle diese neueren Wärmekraftmaschinen auf eine Verdrängung der Jahrhundert alten Dampfmaschine hinarbeiteten.

**Verbesserte Wärmeausnutzung bei den neueren Wärmekraftmaschinen.** Ein Hauptvorteil der eben genannten neueren Wärmekraftmaschinen besteht in der wesentlich besseren Ausnutzung der zu Gebote stehenden Wärmequellen. Daß das ein nicht zu unterschätzender Vorteil ist, ergibt sich aus der einfachen Erwägung, daß der Kohlenvorrat unserer Erde, so gewaltig er auch sein mag, doch endlich einmal zu Ende gehen muß, und gerade mit der durch die Kohlen gebotenen Wärmequelle wurde bisher, wie wir früher gesehen hatten, in der Dampfmaschine in der verschwenderischsten Weise umgegangen. Heute schon nützen selbst kleine Gas- und Petroleummaschinen die ihnen zugeführte Wärmemenge fast ebenso gut aus als unsere besten und größten, mit der äußersten Sorgfalt hergestellten Dampfmaschinen, und, was nicht übersehen werden darf, während die Jahrhunderte alte Dampfmaschine an der Grenze der Vollkommenheit angelangt ist und eine nennenswerte Verbesserung in der Ausnutzung der ihr zugeführten Wärme nicht wohl möglich ist, sind die neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen) noch immer in der Entwicklung begriffen, und es kann mit Sicherheit angenommen werden, daß hier die nächsten Jahre immer noch weitere Verbesserungen in der Wärmeausnutzung bringen werden.

In allen Gasmaschinen wird die Wärme in der Weise in Arbeit umgewandelt, daß das Brennmaterial, ein Gas oder eine vergaste Flüssigkeit, in dem Zylinder selbst zur Verbrennung gebracht wird, und daß die durch diese Verbrennung entstandenen heißen, hochgespannten Gase einen in dem Zylinder befindlichen Kolben vorwärts treiben. Schon hieraus ist ersichtlich, daß die Wärmeausnutzung eine wesentlich bessere sein muß als bei der Dampfmaschine: durch die Verwendung eines gasförmigen Brennstoffes läßt sich eine viel vollkommeneren Verbrennung erzielen als durch die Verbrennung fester Brennstoffe, denn nur bei gasförmigem Brennstoffe läßt sich die Zuführung einer zur vollkommenen Verbrennung<sup>1)</sup> nötigen und ausreichenden Luftmenge in jedem Augenblicke genau regeln. Ferner aber fallen hier, bei den neueren Wärmekraftmaschinen, wo Wärmeerzeugung und Wärmeausnutzung örtlich und zeitlich vereinigt sind, alle die Verluste fort, welche bei der Dampfmaschine schon allein darin

1) Vgl. Blochmann, Luft, Wasser, Licht und Wärme. N. u. G. Bd. 5. VI. Vortrag.

begründet sind, daß die durch die Verbrennung der Kohle erzeugte Wärme durch eine Blechwandung hindurch auf das Wasser, oder auf den Wasserdampf übertragen wird, und daß dieser Wasserdampf dann erst als Kraftträger benutzt wird.

Infolge der großen Verschiedenheit aller der festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffe, welche zum Antriebe von Gasmaschinen heute verwendet werden, ist es fast allgemein üblich geworden, bei den einzelnen Maschinengattungen nicht die kg oder cbm Brennstoff, sondern die Anzahl von WE anzugeben, welche zur Leistung einer Std-PS verbraucht werden, in derselben Weise, wie dies schon auf S. 29 bei der Dampfmaschine geschehen ist. Das ist insofern sehr zweckmäßig, als man dadurch die doppelten Angaben für Brennstoffverbrauch und Heizwert des verwendeten Brennstoffes erspart, denn natürlich verbraucht eine Maschine um so weniger von einer bestimmten Brennstoffart (Kohle, Petroleum, Leuchtgas usw.), je hochwertiger dieser Brennstoff ist, das heißt je höher sein Heizwert ist.

Der Wärmeverbrauch selbst kleiner Gasmaschinen beträgt heute häufig nicht mehr als etwa 3500 WE/Std-PS, sinkt aber bei größten, besten Maschinen herunter bis auf etwa 1800 WE. Dies entspricht aber nach der bei der Dampfmaschine (S. 29) angegebenen Berechnungsweise einem wirtschaftlichen Wirkungsgrad von

$$\eta_w = \frac{632}{3500} = 0,18, \text{ bis hinauf zu } \eta_w = \frac{632}{1800} = 0,35.$$

Ein Vergleich mit den früher bei der Dampfmaschine berechneten Werten des wirtschaftlichen Wirkungsgrades zeigt, daß **heute schon kleine Gasmaschinen unsere besten und größten Dampfmaschinenanlagen, was die Ausnutzung der zugeführten Wärme betrifft, vielfach erreicht, mitunter sogar schon überholt haben**, während bei großen Gasmaschinen die Wärme ungefähr doppelt so gut ausgenutzt wird, als bei entsprechend großen und guten Dampfmaschinen.

**Andere Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen.** Ein wesentlicher Vorteil aller Gasmaschinen besteht in dem Fortfallen des Dampfkessels. Daß gerade hierdurch eine Quelle bedeutender Wärmeverluste vermieden wird, wurde bereits früher erwähnt. Zu beachten ist ferner der Umstand, daß durch das Fortfallen der Dampfkesselanlage die Anschaffungskosten der Wärmekraftmaschine geringer werden, erstens durch das Fortfallen des Dampfkessels selber, zweitens aber hauptsächlich deswegen, weil der

sonst für den Dampfkessel benötigte, meist nicht unbeträchtliche Raum zu anderweitiger Verwendung frei wird. Schließlich sei auch noch auf die größere Gefahrlosigkeit der Anlage bei Fortfallen des Dampfkessels hingewiesen. Freilich kann auch hier die Möglichkeit von Unfällen infolge von Explosionen, namentlich bei Gas- und Benzinmaschinen, nicht rundweg abgeleugnet werden, indessen müssen es doch schon Versehen größter Art sein, wenn derartige Unfälle auch nur annähernd den Umfang annehmen sollten, wie die trotz aller gesetzlichen Sicherheitsmaßregeln leider immer noch von Zeit zu Zeit vorkommenden Dampfkesselexplosionen mit ihren furchtbaren Verheerungen.

Es war schon früher hervorgehoben worden, daß die Dampfmaschine nur für sehr große Arbeitsleistungen auch heute noch meistens das Feld beherrscht. Der Grund hierfür liegt, wie wir gesehen hatten, vor allen Dingen darin, daß die an und für sich schon schlechte Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine immer schlechter, der Betrieb also immer kostspieliger wird, je kleiner die Leistung ist, für welche die Dampfmaschine gebaut ist. Ferner aber muß auf die Verwendung der Dampfmaschine überall da verzichtet werden, wo es sich um Arbeitsleistungen handelt, welche die Maschine immer nur zeitweise mit längeren Betriebspausen liefern soll. Dies ist aber hauptsächlich der Fall bei Maschinen für kleine Arbeitsleistungen, also bei solchen Maschinen, welche als sogenannte Kleinkraftmaschinen Verwendung finden sollen. Man hat daher der Dampfmaschine den Vorwurf gemacht, daß sie die Großindustrie und das Fabrikwesen auf jede Weise fördere, daß sie aber dem kleinen Handwerker ihre Hilfe versage. Einem Kleinhandwerker, einem Schlosser z. B., ist die Anschaffung selbst einer kleinen Dampfmaschine meistens unmöglich. Einmal wird es ihm an dem für den Dampfkessel erforderlichen Plage in den meisten Fällen fehlen, ferner aber würde sich ein solcher Dampfmaschinenbetrieb für ihn als viel zu kostspielig erweisen, da er ja, wenn die Maschine jeden Augenblick bereit sein soll, Arbeit zu leisten, etwa zum Betriebe einer Drehbank, einer Holzhobelmaschine usw., den Dampfkessel ununterbrochen geheizt stehen haben müßte, was neben der Notwendigkeit fortwährender Bedienung vor allen Dingen nutzlosen Kohlenverbrauch zur Folge haben würde.

Gerade hierin liegt nun der Vorteil und die große Bedeutung der meisten neueren Wärmekraftmaschinen. Um eine kleine Leuchtgasmaschine, eine Benzinmaschine usw. in Benutzung zu nehmen, bedarf es nicht der langwierigen Anheizung eines Kessels, es genügen wenige Handgriffe,

um die Maschine in Gang zu setzen, und ebenso schnell, wie sie in Gang gesetzt ist, ist sie auch wieder zum Stillstand gebracht. Während ihres Stillstandes bedarf aber eine solche Maschine weder einer Aufsicht noch einer Bedienung, der Wärmeverlust während einer Betriebspause ist nahezu gleich Null, da hierbei nur diejenige Wärme in Betracht kommt, welche durch die Abkühlung des Zylinders während der Betriebspause verloren geht.

Freilich das Bessere ist des Guten Feind, und so kann nicht verschwiegen werden, daß auch die Gasmaschinen noch nicht das Ideal einer Kleinkraftmaschine darstellen. Als ein solches Ideal könnte viel eher der Elektromotor bezeichnet werden, das heißt diejenige Kraftmaschine, in welcher Elektrizität in Arbeit umgewandelt wird, denn seine Bauart und Handhabung übertrifft selbst die vollkommensten neueren Wärmekraftmaschinen noch bei weitem an Einfachheit und Bequemlichkeit. Der Elektromotor hat nur eine sehr üble Eigenschaft: seine Betriebskosten, das heißt die Kosten für den elektrischen Strom sind heute noch meist recht hoch, trotzdem die Elektrizitätswerke manchmal den Strom für Kraftzwecke schon nahezu zum Selbstkostenpreise abgeben, und so kommt es, daß bis jetzt wenigstens die Gasmaschine dem Elektromotor als Kleinkraftmaschine meistens noch überlegen ist.

**Brennstoffkosten bei Wärmekraftmaschinen.** Freilich wird nun derjenige, welcher sich eine Wärmekraftmaschine anschaffen will, zunächst nicht fragen: welche Maschine nutzt die ihr zugeführte Wärme am besten aus, oder mit anderen Worten, welche Maschine verbraucht für die Erzeugung einer Std-PS die geringste Anzahl WE, sondern er wird sich vor allen Dingen fragen: welche Maschine liefert mir die verlangte Arbeit am billigsten; es werden daher für die Anschaffung einer Wärmekraftmaschine weniger die Zahlen des wirtschaftlichen Wirkungsgrades oder die Anzahl der verbrauchten WE/Std-PS in Betracht kommen, als die Zahlen für die Kosten einer Std-PS<sub>n</sub> und es wird sich zeigen, daß selbst diejenigen Maschinen, welche die ihnen zugeführte Wärme verhältnismäßig sehr gut ausnutzen, im Betriebe durchaus nicht etwa die billigsten sind. Eine allgemein gültige Rechnung über die Kosten des Brennstoffverbrauches für 1 Std-PS bei den verschiedenen Wärmekraftmaschinen anzustellen, ist unmöglich, da die Preise der zur Verwendung kommenden Brennstoffe, Kohlen, Gas, Petroleum usw. an den einzelnen Orten und zu verschiedenen Zeiten stark voneinander abweichen. Um jedoch einen

ungefähren Überblick darüber zu geben, wie sich diese Kosten bei den einzelnen Kraftmaschinen gegeneinander verhalten, seien zunächst für Brennstoffverbrauch, Heizwert und Preis des verwendeten Brennstoffes folgende Mittelwerte angenommen:

Art der Maschinen	Brennstoffverbrauch für 1 Std-PS in kg (cbm)	Heizwert von 1 kg (1 cbm) Brennstoff in WE	angenommener Preis von 1 kg (cbm) Brennstoff in Pfg.
Dampfmaschinen . . . . .	klein 5 kg groß 0,5 "	7 000 (kg)	2,2
Leuchtgasmaschinen . . . . .	klein 0,65 cbm groß 0,45 "	5 000 (cbm)	12,0
Sauggasmaschinen für Braunkohlenbriketts . . . . .	klein 0,9 kg groß 0,65 "	4 800 (kg)	1,8
Benzolmaschinen . . . . .	klein 0,4 " groß 0,25 "	9 500 (kg)	30,0
Spiritusmaschinen 20 % Benzolzusatz . . . . .	klein 0,5 " groß 0,35 "	6 000 (kg)	25,0
Dieselmotoren mit Gasöl	klein 0,23 " groß 0,18 "	10 000 (kg)	12,0

Man erhält nun ein sehr übersichtliches Bild über das Verhältnis von Wärmeverbrauch und Brennstoffkosten für eine Std-PS bei den einzelnen Maschinengattungen, wenn man sich (Abb. 9 a. f. S.) eines zeichnerischen Verfahrens bedient. Im obersten Teile der Abbildung ist für die in der Überschrift angegebene Maschinengattung auf Grund der eben angegebenen kleinen Tabelle der Wärmeverbrauch für die Std-PS als Länge von Rechtecken in einem gewissen Maßstabe dargestellt. Der Wärmeverbrauch kleiner Dampfmaschinen ist so gewaltig, daß das betreffende Rechteck abgebrochen gezeichnet werden mußte. Die mittlere Darstellung zeigt, wie falsch es wäre, etwa nur nach dem Wärmeverbrauch oder, was ja dasselbe ist, nur nach dem wirtschaftlichen Wirkungsgrade den Wert der einzelnen Maschinengattung zu beurteilen. Unter Berücksichtigung der oben angenommenen mittleren Brennstoffpreise sind hier für die verschiedenen Brennstoffe die Kosten von je 10000 WE berechnet und wiederum als Längen von Rechtecken aufgetragen. Man erkennt die gewaltigen Preisunterschiede derselben Wärmemenge je nach dem Brennstoffe, aus welchem sie erzeugt wurde. Multipliziert man die Angaben der ersten und zweiten Reihe, so erhält man endlich die Darstellung der untersten Reihe: die Kosten der zur Leistung einer Std-PS erforderlichen Brennstoffmenge.

	Dampfm.		Leuchtgas		Sauggas		Benzol		Spiritus		Diesel	
	kl.	gr.	kl.	gr.	kl.	gr.	kl.	gr.	kl.	gr.	kl.	gr.
Verbrauch an WE für 1 Std - PS	35000	3500	3250	2250	4320	3120	3800	2375	3000	2100	2300	1800
Preis von 10 000 WE in Pfg.	3,14		24		3,75		31,6		41,6		12	
Brennstoffpreis für 1 Std - PS	11	1,1	7,8	5,4	1,62	1,17	12	7,5	12,5	8,8	2,76	2,16

Ein Vergleich der obersten und der untersten Reihe zeigt, wie gewaltig der Unterschied zwischen den einzelnen Maschinengattungen ist, je nachdem man den Wärmeverbrauch oder die Brennstoffkosten für eine Std-PS in Betracht zieht.

**Betriebskosten bei Wärmekraftmaschinen.** Aber auch aus diesen Zahlen darf man noch keinen endgültigen Schluß auf die größere oder geringere Wirtschaftlichkeit der einzelnen Wärmekraftmaschinen ziehen. Ein solcher wird erst dann möglich sein, wenn man auch die Kosten für die Anschaffung und Aufstellung der Kraftmaschine, für den Bau des Maschinenhauses, für Rohrleitungen, Schmiermittel, Verzinsung, Abschreibung usw. berücksichtigt. Eine allgemein gültige Berechnung darüber aufzustellen, ist hier jedoch noch weniger möglich als bei der Berechnung der Brennstoffkosten, wenn man nicht ganz ausführliche Angaben über die zur Berechnung jeweilig gemachten Annahmen mitteilt. Es möge daher hier nur kurz erwähnt werden, daß sich unter Berücksichtigung aller der obengenannten Umstände die Verhältnisse gegenüber den Angaben der untersten Reihe von Abb. 9 oft sehr wesentlich verschieben. So werden z. B. bei kleineren Dampfmaschinenanlagen trotz geringerer oder gleich großer Brennstoffkosten die Gesamtbetriebskosten für 1 Std-PS wesentlich größer als die gleich großer Benzin- und Petroleummaschinen, die Gesamtbetriebskosten kleinerer Dieselmotoren größer als die gleich großer Spiritusmaschinen usw. Wer sich genauer hierüber unterrichten will, findet in der Literatur mehrfach (auch in dieser Sammlung) ausführliche Angaben.

### Dritter Abschnitt.

## Verpuffungsmaschinen für vergaste feste Brennstoffe.

### Erstes Kapitel.

#### Geschichtlicher Rückblick.

**Erste Versuche zum Bau von Gasmaschinen.** Die Versuche, die Kraft verpuffender Gase zur Arbeitsleistung zu verwenden, sind schon sehr alt, sie reichen bis ins 17. Jahrhundert zurück, und zwar waren es zunächst die durch Verpuffung des Schießpulvers sich bildenden hochgespannten Gase, welche man, freilich ohne Erfolg, zum Betriebe von Maschinen verwenden wollte. Gegen das Ende des 18. Jahrhunderts versuchten dann englische Erfinder, Kraft dadurch zu erzeugen, daß sie Kohle, Öl und andere Brenn-

stoffe in einer Retorte vergasten, diese Gase mit Luft vermischten und dann in einem mit Kolben versehenen Zylinder zur Verbrennung brachten. Versteht man jedoch unter Gasmaschinen solche Maschinen, deren Betriebsmittel das gewöhnliche Leuchtgas ist, so muß man füglich ihre Erfindung in das Jahr 1801 versetzen und den Franzosen Lebon, den Erfinder des Leuchtgases, auch als den Erfinder der ersten Leuchtgasmaschine betrachten, denn Lebon ließ sich im Jahre 1801 ein Patent auf eine Maschine erteilen, welche mit dem von ihm erfundenen Leuchtgase betrieben werden sollte. Zur wirklichen Verwertung kam dieser Gedanke ebenso wenig wie die späteren Beschreibungen und „Erfindungen“ von Gasmaschinen, welche in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts gemacht wurden. Erst dem Franzosen Lenoir gelang es im Jahre 1860, eine wirklich brauchbare, betriebsfähige Gasmaschine herzustellen, und wenn auch die Gedanken, die er in seiner Gasmaschine verwendete, nichts Neues boten, so gebührt ihm doch der Ruhm, vorher bekannten Gedanken eine brauchbare Gestalt gegeben zu haben, und er muß daher als der eigentliche Erfinder der Gasmaschine bezeichnet werden.

**Lenoir-Maschine.** Für den Bau seiner Maschine hatte sich Lenoir ganz augenscheinlich die doppelwirkende Dampfmaschine zum Vorbilde genommen. In einem Zylinder bewegte sich ein Kolben, dessen Kolbenstange, durch eine Stopfbüchse abgedichtet, durch den vorderen Zylinderdeckel hindurchging. Gerade so wie bei der Dampfmaschine wurde dann durch eine Schubstange die Kraft des Kolbens auf eine Kurbel übertragen und so die hin- und hergehende Bewegung in eine drehende Bewegung umgewandelt. Die Steuerung der Maschine, das heißt das Einlassen des Luft- und Gasgemisches, sowie das Auslassen der verbrauchten Verbrennungsgase geschah gerade so wie bei der Dampfmaschine durch einen Schieber. Auf dem ersten Teile seines Weges, etwa bis zur Mitte, wurde nun der Kolben durch die vorher in dem Schwungrad aufgespeicherte Kraft vorwärts getrieben und saugte auf diesem Wege ein Gemisch von Gas und Luft an. Dieses Gemisch wurde mit Hilfe einer elektrischen Zündvorrichtung zur Entzündung gebracht, wodurch die Spannung hinter dem Kolben ziemlich plötzlich bis auf 5 oder 6 atm stieg. Die sich ausdehnenden Verbrennungsgase trieben nun den Kolben vorwärts und da der Zylinder außerdem durch einen Wassermantel ziemlich stark gekühlt wurde, sank die Spannung der Gase sehr rasch bis beinahe auf Außenluftspannung. Kurz vor Ende des Hubes öffnete sich infolge veränderter Schieberstel-

lung der Ausströmkanal, der Kolben drehte um, und während er die verbrauchten Gase auf der eben betrachteten Seite vor sich herschob und aus dem Zylinder hinaustrieb, fand auf der entgegengesetzten Seite ein neues Ansaugen und eine neue Verpuffung statt.

Das auf Seite 15 angedeutete und dort erläuterte Diagramm ist das theoretische Diagramm einer Lenoirmaschine, weshalb die damaligen Erörterungen an dieser Stelle noch einmal nachgelesen werden mögen.

Die Maschine von Lenoir, die in allen ihren Teilen vorzüglich ausgeführt war, erregte damals gewaltiges Aufsehen. Ihr hübsches Äußere, ihr ruhiger, gleichmäßiger Gang hatte für den Beschauer etwas Bestechendes, und da es nicht unterlassen wurde, für die Maschine in gehöriger Weise die Reklametrommel zu rühren und der Maschine alle möglichen und unmöglichen guten Eigenschaften nachzusagen, fand sie rasch einen reißenden Absatz. Aber sehr bald trat ein Rückschlag ein. Während man vorher auf gut Glück behauptet hatte, daß die Maschine für 1 Std-PS nur  $\frac{1}{2}$  cbm Gas verbrauche und insolgedessen binnen kurzer Zeit sämtliche Dampfmaschinen verdrängt haben würde, stellte es sich zum Schrecken der einzelnen Besitzer nur zu bald heraus, daß der Verbrauch an Leuchtgas ein ganz gewaltiger war und nicht  $\frac{1}{2}$ , sondern 3 cbm und mehr Leuchtgas für 1 Std-PS<sub>n</sub> betrug. Außerdem hatte die Maschine noch den besonderen Übelstand, daß sie eine unglaubliche Menge Schmiermaterial verlangte, so daß man sie nachher spöttisch geradezu einen rotierenden Fettklumpen nannte und behauptete, sie brauche allerdings keinen Heizer, dafür aber einen besonderen Ölgießer. Auch die Betriebssicherheit war eine ungenügende, denn die Maschine blieb gewöhnlich sofort stehen, sobald die elektrische Zündvorrichtung einmal versagte, was bei nicht genügend sorgfältiger Aufsicht und Bedienung nicht selten eintrat.

Da es trotz aller Versuche nicht gelingen wollte, diese Übelstände zu beseitigen und namentlich den Gasverbrauch für die Std-PS wesentlich zu verbessern, so war die Folge die, daß die Gasmaschine zum größten Teile wieder aus dem Betriebe verschwand und nur dort beibehalten wurde, wo die Vorteile der Maschine, wie das Fehlen des Dampfkessels, die anderen großen Nachteile überwogen.

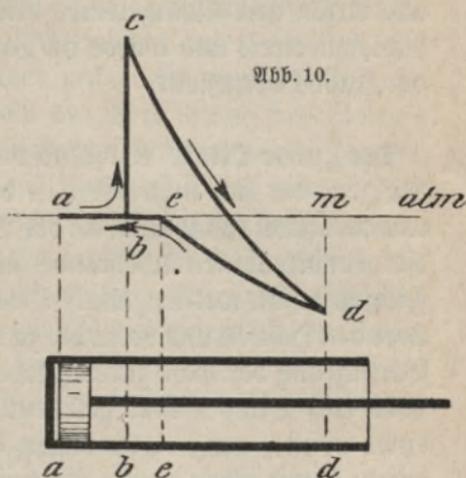
**Die atmosphärische Gasmaschine.** Da war es die deutsche Firma Otto und Langen, welche im Jahre 1867 gelegentlich der Pariser Weltausstellung einen neuen Abschnitt in der Entwicklung der Gasmaschine einleitete durch die Ausstellung einer ganz neuen, eigenartigen, sogenannten atmo-

phärischen Gasmaschine. Der Grundgedanke war ein wesentlich anderer als der der Lenoirmaschine. Ein Kolben, der sich in einem lotrechtstehenden Zylinder bewegte, saugte zunächst auf einem kleinen Teile seines Hubes ein Luft- und Gasgemisch an, welches dann mit Hilfe einer ständig brennenden Zündflamme entzündet wurde. Der durch diese Verpuffung des Gasgemisches entstehende hohe Druck wurde nun aber nicht wie bei der Lenoirmaschine dazu verwendet, Kraft auf den Kolben und damit auf die Kurbel und die Schwungradwelle der Maschine zu übertragen, sondern der Druck wurde einzig und allein dazu benutzt, den Kolben nach Art eines Geschosses in dem Zylinder in die Höhe zu schleudern. Dabei wurde durch eine sinnreiche Vorrichtung dafür gesorgt, daß der Kolben nebst seiner Kolbenstange während dieses Emporfliiegens nicht mit der Schwungradwelle in Verbindung stand. Das Emporfiegen des natürlich dicht an die Zylinderwandungen anschließenden Kolbens hatte in Verbindung mit einer den Zylinder umgebenden Wasserführung zur Folge, daß die Spannung unter dem Kolben sehr rasch fiel, und zwar derart, daß, wenn der Kolben durch Erlahmen seiner lebendigen Kraft in der obersten Stellung angelangt war, sich unter ihm eine starke Luftverdünnung befand. Der Druck der Außenluft in Verbindung mit dem Eigengewichte war es nun, welcher den Kolben abwärts trieb, und auf diesem Wege wurde durch die schon vorher erwähnte sinnreiche Vorrichtung die Kolbenstange mit der Schwungradwelle und damit mit dem Schwungrade wieder in Verbindung gesetzt. Dasjenige, was also tatsächlich Kraft an die Maschinenwelle abgab, war bei der Maschine einzig und allein der Druck der Außenluft (der Atmosphäre) in Verbindung mit dem Eigengewicht des Kolbens, daher auch der Name „atmosphärische“ Gasmaschine. Die Verpuffung des Gasgemisches wurde nur dazu benutzt, den Kolben in die Höhe zu schleudern und dadurch in der erwähnten Weise die zum Betriebe nötige Luftverdünnung unter dem Kolben zu schaffen. Durch das Heruntersinken des Kolbens stieg natürlich die Spannung unter dem Kolben wieder allmählich, und sobald die Außenluftspannung erreicht war, öffnete sich das Ausströmventil, und die Verbrennungsgase wurden durch weiteres Heruntersinken des Kolbens aus der Maschine ausgetrieben.

Die Vorgänge in der Maschine von Otto und Langen werden am besten durch das obige Diagramm (Abb. 10) veranschaulicht (da der Zylinder der Maschine nicht liegend, sondern stehend angeordnet war, muß die Abbildung eigentlich von der linken Seite aus betrachtet werden). Während des

Weges  $\overline{ab}$  saugt der Kolben Luft- und Gasgemisch an. Im Punkte  $b$  tritt die Zündung ein, durch welche der Kolben bis zum Punkte  $d$  emporgeschleudert wird. Die durch die Verpuffung entstandene hohe Spannung  $bc$  ( $bc$  stellt nicht etwa das Emporschleudern des Kolbens dar) sinkt sehr bald unter die Außenluftspannung ( $atm$ , Abb. 10), bis sie bei der höchsten Stellung des Kolbens  $d$ , ihren niedrigsten Wert  $md$  erreicht hat. Dies ist aber natürlich auch gleichzeitig der Überdruck, mit welchem die Außenluft auf die obere Fläche des Kolbens drückt, und man sieht, wie während des Heruntersinkens des Kolbens die Luftverdünnung allmählich wieder verschwindet, der Überdruck der Außenluft also auch nachläßt, bis etwa im Punkte  $e$  die Außenluftspannung unter dem Kolben wieder erreicht ist. In diesem Punkte öffnet sich das Ausströmventil, und während des weiteren Niedersinkens des Kolbens, das heißt während des Weges  $\overline{ea}$ , werden die Verbrennungsgase aus dem Zylinder gestossen.

Die Maschine von Otto und Langen hatte zwei Uebelstände: Da das eigentlich Treibende in der Maschine nicht hochgespannte Gase, sondern nur der verhältnismäßig geringe Druck der Außenluft war, so erhielt die Maschine für einigermaßen große Leistungen sehr große Abmessungen; sie wurde daher auch in der Tat hauptsächlich nur für ganz kleine Leistungen von  $\frac{1}{2}$ , 1 oder 2 PS gebaut. Der zweite größere Uebelstand war der, daß die Maschine ein außerordentlich starkes Geräusch verursachte, herrührend von dem fortwährenden Emporschleudern des Kolbens. Dieses Geräusch war so lästig, daß die Anwendung der Maschine dadurch nicht selten unmöglich wurde, und häufig genug kam es später vor, daß infolge von Beschwerden der Anwohner der Betrieb eingestellt werden mußte. Diese beiden üblen Eigenschaften wurden aber mehr als aufgewogen durch die eine gute Eigenschaft, mit welcher die Maschine alle bis dahin gebauten Gasmaschinen wesentlich übertraf, durch den geringen Gasverbrauch. Während die Lenoirmaschine, wie wir gesehen hatten, mindestens 3 cbm Gas für 1 Std-PS<sub>n</sub> verlangte und alle späteren Verbesserungsversuche im wesentlichen erfolglos geblieben waren, zeigte es sich, daß die neue Gas-



maschine von Otto und Langen den für damalige Verhältnisse ganz unerhört niedrigen Gasverbrauch von 0,8 cbm für 1 Std-PS<sub>n</sub> aufwies, eine Zahl, die erst in allerjüngster Zeit von den besten Gasmaschinen übertroffen wurde.

Dieser ganz außerordentlich geringe Gasverbrauch war aber für den Wert der Maschine entscheidend, und da sie sich trotz ihrer unbestreitbaren, obenerwähnten Mängel als ein durchaus vorteilhaftes Betriebsmittel für alle Arten von Kleingewerbe erwies, so fand sie sehr bald einen großen Abnehmerkreis und wurde im Laufe der Jahre zu vielen Tausenden von der Fabrik hergestellt.

**Der „neue Otto“.** Während dieser Zeit arbeitete die Firma Otto und Langen, die sich inzwischen in die „Deutzer Gasmotorenfabrik“ umgewandelt hatte, unablässig an der Verbesserung der Maschine. Da sich aber die obenerwähnten Übelstände, namentlich das lästige Geräusch, nicht beseitigen lassen wollten, warf Otto die ganzen bisherigen Erfolge einfach über den Haufen und versuchte zu der unmittelbaren Krafterzeugung durch Verpuffung der Gase zurückzukehren. Der Versuch gelang, und im Jahre 1878 trat Otto, wieder gelegentlich einer Pariser Weltausstellung, mit einer neuen, ganz eigenartigen Gasmaschine an die Öffentlichkeit und leitete damit einen neuen Abschnitt in der Entwicklung der Gasmaschine ein. Diese neue Maschine, der „neue Otto“, wie sie bald nach ihrem Erfinder genannt wurde, war derart vorzüglich in allen ihren Teilen durchdacht und ausgeführt, ihre Wirkung war eine so hervorragend gute, daß die Bauart der Maschine bis zum heutigen Tage im wesentlichen dieselbe geblieben ist und eine Verminderung des Gasverbrauches erst in jüngster Zeit bei den besten Gasmaschinen erreicht wurde.

Die drei Punkte, in denen sich der neue Otto wesentlich von allen bisherigen Gasmaschinen unterschied, waren die folgenden: 1. Verdichtung des angesaugten Luft- und Gasgemisches vor der Zündung, 2. Entzündung des verdichteten Gasgemisches im sogenannten Totpunkte der Maschine und 3. die sogenannte Viertaktwirkung, darin bestehend, daß die Maschine während eines Kolbenhin- und -herganges nur als Verdichtungspumpe benutzt wurde und erst bei dem darauffolgenden Hin- und Hergange des Kolbens als eigentliche Kraftmaschine arbeitete. Genaueres über diese Viertaktwirkung später.

Wie bedeutend die Erfindung Ottos war, läßt sich vielleicht am besten daraus erkennen, daß von allen Seiten der Versuch gemacht wurde, ihm seine Erfinderrechte streitig zu machen und die auf seine neue Gasmaschine

bezüglichen Patente anzufechten. In der That gelang es Engländern und Franzosen mit Hilfe alter, längst vergessener Patentschriften nachzuweisen, daß gerade die obenerwähnten drei Hauptpunkte, durch welche sich der neue Otto von sämtlichen bisher ausgeführten Gasmaschinen unterschied, schon lange vor ihm von anderen gefunden und in ihren (nie ausgeführten) patentierten Gasmaschinen verwendet worden waren. Obgleich nun wohl mit Sicherheit anzunehmen ist, daß Otto völlig selbständig vorgegangen ist und daß ihm alle die später wieder ans Tageslicht gebrachten Patentschriften früherer Erfinder unbekannt gewesen sind, so muß doch zugegeben werden, daß sowohl die Verdichtung des Gasgemisches, wie die Totpunktzündung und Viertaktwirkung schon vor ihm erfunden worden waren. Dies kann aber das Verdienst Ottos nicht im geringsten schmälern. Durch ihn erst wurde die Wichtigkeit der drei erwähnten Punkte vollkommen erkannt, durch ihn erhielt die Gasmaschine die Gestalt, die sie im Laufe der Jahre zu so gewaltigen Erfolgen befähigte, und so muß Otto entschieden neben Lenoir als der eigentliche Erfinder der Gasmaschine betrachtet werden.

## Zweites Kapitel.

### Die Betriebsmittel.

**Leuchtgas.** Die Herstellung des Leuchtgases ist im Grunde genommen außerordentlich einfach. Die Steinkohlen — solche werden fast durchgängig zur Leuchtgasbereitung benutzt — werden in großen Gefäßen, sogenannten Retorten, die früher aus Eisen, neuerdings wohl meistens aus Chamotte bestehen, luftdicht verschlossen und in diesen Gefäßen bis zur Weißglut erhitzt. Hierdurch entwickelt sich aus den Kohlen ein Gas, welches trotz der großen Hitze nicht verbrennen kann, weil eben der zur Verbrennung unbedingt erforderliche Sauerstoff, das heißt atmosphärische Luft, fehlt. Das Gas wird hierauf gekühlt, macht dann verschiedene Reinigungsvorgänge durch und wird schließlich in großen Behältern, Gasometer genannt, für den Gebrauch aufgespeichert. Das, was in den Retorten nach Austreibung des Gases aus den Steinkohlen zurückbleibt, sind die bekannten Gaskoks (so zu schreiben und nicht Gasfoaks, denn das Wort kommt von dem lateinischen coctum, gekocht), welche zum Teil in der Gasanstalt selbst zum Anheizen der Retorten wieder benutzt werden.

Die Zusammensetzung des Leuchtgases, welches aus vielen einzelnen, innig miteinander vermischten Gasen besteht, ist eine verschiedene

und stark wechselnde, je nach der Beschaffenheit der Kohle und nach Art der Zubereitung oder, wie man sagt, der Destillation. Die Hauptbestandteile des Leuchtgases nach der Reinigung bilden erstens die sogenannten schweren Kohlenwasserstoffe, ferner Wasserstoff, Kohlenoxyd und geringe Mengen von Sauerstoff und Stickstoff. Der Gehalt an Kohlenoxyd ist es namentlich, der das Leuchtgas so außerordentlich giftig macht, wenige Atemzüge reinen Leuchtgases genügen, um Besinnungslosigkeit zu erzeugen, und selbst verdünntes Leuchtgas hat ja schon oft genug, wenn es längere Zeit, z. B. im Schlafe, eingeatmet wurde, den Tod von Menschen herbeigeführt. Der bekannte scharfe Geruch des Leuchtgases muß daher als willkommenes Warnungsmittel bezeichnet werden. Diese Warnung ist besonders deshalb so eindringlich, weil sich das Leuchtgas sehr leicht und schnell mit Luft vermischt, so daß der Geruch sich schnell auf weite Strecken hin verbreitet.

Diese rasche und innige Verbindung mit Luft — man nennt sie Diffusion — ist eine sehr wertvolle Eigenschaft der Gase, auf der nicht zum geringsten Teil die Möglichkeit beruht, das Leuchtgas in unseren Maschinen zur Krafterzeugung zu benutzen. Für die Verbrennung eines Brennstoffes brauchen wir nämlich Luft, und zwar ist diese Verbrennung um so vollkommener, je vollkommener die Mischung des Brennstoffes mit Luft ist. Es würde also, wenn in den Gasmaschinen nicht sofort eine innige Vermischung der Luft mit dem Leuchtgase stattfände, ein beträchtlicher Teil des Gases mit Luft nicht in Berührung kommen, er würde nicht verbrennen können und unverbrannt, das heißt unausgenutzt aus der Maschine entweichen.

Die wichtigste Eigenschaft des Leuchtgases aber, auf welcher seine Verwendung zu Kraftzwecken beruht, ist die, daß es, mit Luft vermischt und in geschlossenen Räumen zur Entzündung gebracht, unter starker Druckentwicklung verbrennt oder, wie man sagt, verpufft. Diese Druckentwicklung begründet sich darauf, daß durch die Verbrennung eine große Menge Wärme frei wird, durch welche die Temperatur und damit die Spannung der entstehenden Gase gesteigert wird. Die Höhe der durch die Verpuffung entstehenden Temperatur und Spannung wird verschieden sein, je nach dem Verhältnis, in welchem Gas und Luft miteinander gemischt sind: die größte Druckentwicklung wird offenbar dann stattfinden, wenn dem Gase gerade so viel Luft beigemischt ist, als zur vollständigen Verbrennung aller Gasteilchen eben nötig ist. Man spricht alsdann von einem „stärksten Gasgemisch“. Enthält das Gemisch weniger Luft, so werden

einzelne Gasteilchen unverbrannt bleiben, ist zuviel Luft vorhanden, so wird zwar die Verbrennung eine sehr vollkommene, aber ein Teil der entstandenen Wärme muß dann dazu verwendet werden, um diese überschüssige Luft mit zu erwärmen, er geht also für die Steigerung der Druckwirkung verloren. Wird das Verhältnis von Luft zu Gas noch größer, so kommt man schließlich an eine Grenze, bei welcher das Gemisch aufhört, entzündbar zu sein, und ebenso wird es natürlich eine untere Grenze geben, das heißt, es wird eine geringste Luftmenge geben, welche einer bestimmten Gasmenge mindestens beigemischt werden muß, damit das Gemisch überhaupt entzündbar ist.

Auch auf die Zeitdauer einer solchen Verpuffung hat das Mischungsverhältnis zwischen Gas und Luft einen wesentlichen Einfluß, derart, daß mit zunehmender Verdünnung des Gemisches auch die Zeit zunimmt, welche für die vollständige Verbrennung des ganzen Gemisches notwendig ist. Da diese Zeiten, wie aus dem folgenden ersichtlich ist, durchaus nicht von so unmeßbar kurzer Dauer sind, als man zunächst wohl anzunehmen geneigt ist, so folgt daraus, daß es eine falsche Vorstellung erwecken muß, wenn man solche Verpuffungen mit dem Namen „Explosionen“ bezeichnet.

In seinem Buche über Gas- und Petroleummaschinen veröffentlicht der Engländer Dugald Clerk eine Reihe von Versuchen, die er mit einem bestimmten Leuchtgas von Außenluftspannung und 17° Wärme angestellt hat. Die folgende Zusammenstellung gibt die Ergebnisse einer Anzahl dieser Versuche, aus denen der bei der Verbrennung entstehende höchste Druck, die Zeitdauer der Verbrennung, sowie die (rechnerisch bestimmte) höchste Temperatur während der Verpuffung ersichtlich ist.

Gemisch		Höchster Druck in atm Überdruck	Zeitdauer der Verpuffung Sekunden	Verpuffungs- temperatur Grad Celsius
Raumteile Gas	Raumteile Luft			
1	4	5,60	0,16	1595
1	5	6,37	0,055	1812
1	6	6,30	0,04	1792
1	12	4,2	0,24	1202
1	14	2,8	0,45	806

Bei diesem Gase würde also etwa die Mischung 1 zu 5 dem oben erwähnten stärksten Gasgemische entsprechen, da sich hier der stärkste Druck, die höchste Temperatur, sowie annähernd die kürzeste Zeitdauer der Verpuffung ergibt. Man sieht auch, daß bei der Verpuffung des schwächsten Gasgemisches von einer „Explosion“ nicht mehr gut gesprochen werden kann, ja es ergibt sich geradezu, daß eine derartige Verpuffung in einer Gas-

maschine gar nicht mehr verwendet werden könnte, da hier der Kolben in der Regel eine so hohe Geschwindigkeit besitzt, daß er seinen Hub beendet haben würde, bevor diese Verpuffung ihr Ende erreicht hätte.

Die letzte Spalte der kleinen Tafel zeigt aufs deutlichste die Notwendigkeit einer allen Gasmaschinen eigentümlichen Einrichtung, nämlich die Notwendigkeit einer künstlichen Abkühlung der Zylinderwandungen. Welches auch der Kreisprozeß sein möge, der in den Gasmaschinen oder in den mit ihnen eng verwandten Petroleum-, Benzin- oder Spiritusmaschinen zur Anwendung gelangt, immer treten in diesem Kreisprozeße derartig hohe Temperaturen auf, daß ein ungestörter Maschinenbetrieb unmöglich sein würde, wenn nicht die Zylinderwandungen künstlich von außen gekühlt werden würden. In der Regel geschieht diese Kühlung in der Weise, daß der Arbeitszylinder der Maschine von einem Mantel umgeben wird und durch den zwischen Mantel und Zylinder entstehenden Hohlraum Wasser in ununterbrochenem Strome hindurchgeleitet wird. Freilich ist mit einer solchen Kühlung auch ein großer Wärmeverlust oder, was ja damit gleichbedeutend ist, ein großer Verlust an Arbeitsvermögen verbunden; aber gerade so, wie es bei der Dampfmaschine unmöglich ist, die in dem Dampfe enthaltene latente Wärme vollständig auszunutzen<sup>1)</sup> und der dadurch entstehende große Wärmeverlust bei der Verwendung des Wasserdampfes als Kraftträger mit in Kauf genommen werden muß, ebenso ist auch die Zylinderkühlung bei den Gasmaschinen ein notwendiges Übel, dessen Herabminderung auf ein möglichst geringes Maß das Bestreben aller Erbauer von Gasmaschinen sein muß, da heutzutage noch die in das Kühlwasser übergehende Wärme fast die Hälfte der ganzen bei der Verpuffung sich bildenden Wärme beträgt.

Hatten wir im Vorhergehenden gesehen, daß das Leuchtgas eine Reihe wertvoller Eigenschaften besitzt, welche es für die Verwendung in Gasmaschinen besonders geeignet machen, so wäre nun noch die Frage zu erörtern, in welcher Weise die in den Steinkohlen zur Verfügung stehende Wärme durch die Herstellung von Leuchtgas ausgenutzt wird, das heißt wieviel von der durch den Heizwert der Steinkohle dargestellten Wärme sich schließlich in dem Heizwerte des erzeugten Gases und der sich ergebenden Nebenerzeugnisse Koks und Teer wiederfindet. Es bedarf wohl keiner Erwähnung, daß diese Ausnutzung eine sehr verschiedene sein wird, je nach der Größe und Vollkommenheit der einzelnen Gasanstalten; es ist ferner klar, daß bei schwacher Inanspruchnahme des Gaswerkes die

1) S. Anmerkung S. 31.

Erzeugung des Gases eine ungünstigere ist als in den Tagen voller Benutzung der Gasanstalt. Im Mittel wird man bei guten neuzeitlichen Gasanstalten eine Ausnutzung von nahezu 80 % annehmen können, wobei zu beachten ist, daß diese Ausnutzungszahl noch dadurch erhöht wird, daß die Verkaufspreise der Nebenerzeugnisse, Koks und Teer, ziemlich hoch sind, und sich bei Teer bisweilen doppelt so hoch stellen als die Preise für Koks oder für Gaskohlen. Auch der Wert des Ammoniaks ist hier mit in Rechnung zu ziehen. Ammoniak hat allerdings keinen Heizwert, es kann also bei der Beurteilung der Frage, wie bei der Gas erzeugung der Heizwert der Kohle ausgenutzt wird, nicht in Betracht kommen, dagegen hat es einen nicht unbeträchtlichen Verkaufswert und trägt auf diese Weise auch seinerseits zur Verminderung der Herstellungskosten des Leuchtgases, das heißt zur besseren Ausnutzung der Steinkohle, bei.

**Kraftgas.**<sup>1)</sup> So vorteilhaft nun auch die Verwendung des Leuchtgases als Mittel zur Krasterzeugung ist, so einfach es auch ist, dieses Gas überall hinzuleiten, so hat seine Verwendung für die Besitzer von Gasstrommaschinen doch eine unangenehme Seite, nämlich die stete Abhängigkeit von der Gasanstalt. Diese Abhängigkeit, die um so fühlbarer wird, je größer der Verbrauch an Leuchtgas ist, verbunden mit dem hohen Preise, welchen einzelne Gasanstalten noch immer (meist zu ihrem eigenen Nachteile) für die Lieferung des zu Kraftzwecken verwendeten Gases verlangen, machen es häufig genug wünschenswert, in ähnlicher Weise wie der Dampfkesselbesitzer bei der Krasterzeugung eine größere Selbständigkeit zu besitzen, sowie ein billigeres Betriebsmittel zu erhalten, als es das von den Gasanstalten gelieferte Leuchtgas ist. Die Errichtung einer eigenen Leuchtgasanstalt ist in den meisten Fällen in Anbetracht der hohen Anlage- und Betriebskosten, sowie in Anbetracht der umständlichen Herstellungsweise des Leuchtgases nicht angängig, dagegen hat ein anderes zu Krasterzeugungszwecken geeignetes Gas, das sogenannte Kraftgas, heute eine große Verbreitung gefunden. Die ursprüngliche Herstellungsweise dieses von dem Engländer Dowson erfundenen und häufig nach ihm benannten Gases wird heute nur noch selten angewendet. Sie besteht darin, daß man zunächst in einem kleinen Dampfkessel Dampf von etwa 4—6 atm Spannung erzeugt und diesen Dampf, mit Luft vermischt, durch eine Schicht glühender Kohlen hindurchstreichen läßt, welche sich in einem klei-

1) Genauerer hierüber siehe in des Verfassers „Neuere Wärmekraftmaschinen II“, *MuG.* Bd. 86.

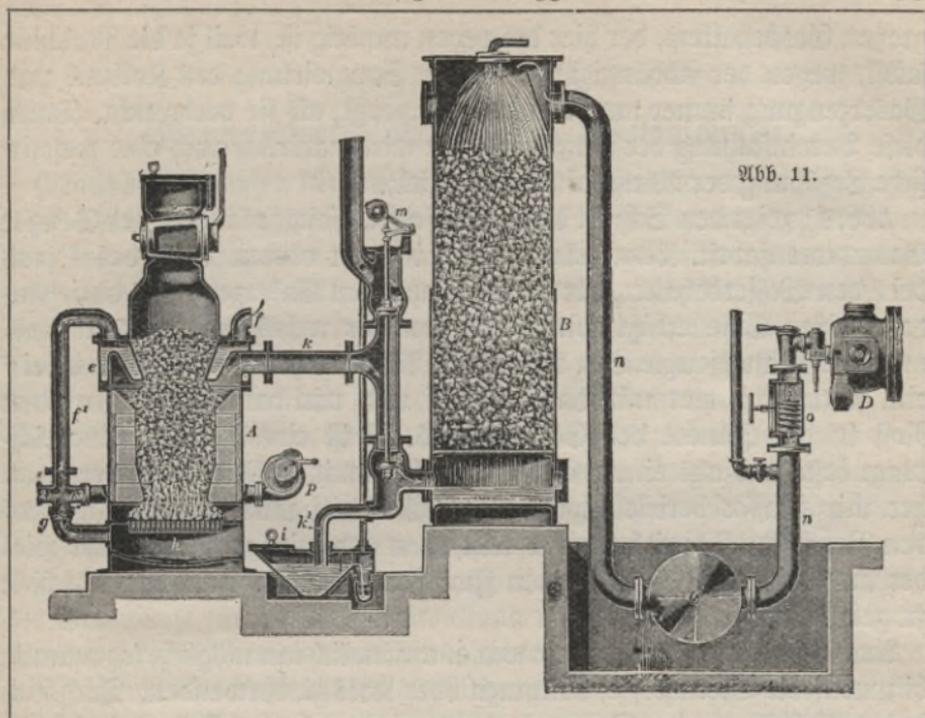
nen Öfen, dem eigentlichen Gaserzeuger oder Generator, befinden. Ein Teil der von dem Dampfe mitgerissenen Luft liefert hierbei den Sauerstoff, welcher zur Verbrennung des im Generator befindlichen Brennstoffes notwendig ist, während der andere Teil der Luft, ebenso wie der Wasserdampf, bei dem Hindurchstreichen durch die glühenden Kohlen eine chemische Zersetzung erleidet und in Verbindung mit dem bei der Verbrennung der Kohlen freiverdenden Kohlenoxyd ein brennbares Gas bildet, welches nach einigen Reinigungsvorgängen in einem Behälter (Gasmeter) aufgefangen wird. Der Gaserzeuger muß natürlich von Zeit zu Zeit mit neuem Brennstoffe beschickt werden, und zwar dürfen hierzu nur Anthrazit oder Koks, nicht etwa die gewöhnlichen Gaskohlen verwendet werden, da diese Kohlen, wie wir früher gesehen hatten, noch andere Nebenbestandteile, besonders Teer und Ammoniak, enthalten, welche bei dieser einfachen Herstellungsweise schwer zu beseitigen wären.

Das so hergestellte „Dowsongas“ ist ein farbloses und fast geruchloses Gas, welches angezündet mit nichtleuchtender, bläulicher Flamme verbrennt. Wegen seines bedeutenden Gehaltes an Kohlenoxyd ist es außerordentlich giftig, weshalb bei der Anwendung mit größter Vorsicht verfahren werden muß. Die Wärmeausnutzung bei der Herstellung ist eine ganz vorzügliche, da der Heizwert des erzeugten Kraftgases etwa 85 % des Heizwertes des im Gaserzeuger verwendeten Brennstoffes beträgt, wogegen z. B. bei der Leuchtgasherstellung nur etwa 20 % des Heizwertes der Steinkohlen sich in dem erzeugten Gase wiederfinden. Der Heizwert des Dowsongases beträgt im Mittel etwa 1200 WE für das cbm.

Der Brennstoffbedarf, der gewöhnlich in kg für 1 Std-PS<sub>n</sub> angegeben wird, beträgt bei kleinen Maschinen ungefähr 0,65 kg, bei größeren Maschinen etwa 0,45 kg Anthrazit.

**Sauggas.**<sup>1)</sup> Das Mißliche bei der Herstellung des Dowsongases ist die Notwendigkeit eines Dampfkessels. Einmal verbraucht ja dieser Dampfkessel, so klein er auch sein mag, Kohlen, deren Wärme in dem erzeugten Gase nicht mehr enthalten ist, für die Gaserzeugung also verloren geht, dann aber bringt schon das Vorhandensein eines Dampfkessels eine Reihe lästiger Übelstände mit sich, die man ja gerade bei Gasmaschinen im Gegensatz zu den Dampfmaschinen zu vermeiden bestrebt war. Um diese Übelstände zu vermeiden, wurde die Herstellung des Kraftgases in der Weise

1) Vgl. Anmerkung auf S. 51.



abgeändert, daß man die Wärme der aus dem Gaserzeuger mit hoher Temperatur entweichenden Gase dazu verwendete, das für die Gasbildung benötigte Wasser zu verdampfen. Während ferner bei dem Dowsongas die Luft durch den Gaserzeuger mit Hilfe des hochgespannten Dampfes hindurchgedrückt wird, benutzt man hier bei der neuen Herstellungsweise die gleich zu beschreibende saugende Wirkung des Maschinenkolbens, um bei jedem Saughube Luft in den Gaserzeuger hinein- und durch die ganze Anlage hindurchzusaugen, wobei aber die Luft, bevor sie in den Gaserzeuger tritt, über das durch die abziehenden Gase erwärmte Wasser hinwegstreicht und so mit Wasserdampf gesättigt wird.

Das auf diese Weise erzeugte Gas, welches natürlich genau dieselbe Beschaffenheit und daher genau dieselben Eigenschaften hat, wie das vorher besprochene Dowsongas, pflegt man wegen der Art seiner Herstellung als Sauggeneratorgas oder kurz als Sauggas zu bezeichnen, während als Gegensatz dazu das Dowsongas häufig auch Druckgas genannt wird. Der Vorteil einer Sauggasanlage gegenüber einer Druckgasanlage besteht also erstens in dem Fortfall des Dampfkessels und des zu seiner Speisung erforderlichen Brennstoffes, dann aber auch in dem Fortfall des

großen Gasbehälters, der hier deswegen unnötig ist, weil ja die Maschine selbst, wegen der Abhängigkeit zwischen Saugwirkung des Kolbens und Gaserzeugung immer nur so viel Gas erzeugt, als sie verbraucht. Durch diese Vereinfachung der ganzen Anlage wird natürlich auch eine wesentliche Erhöhung der Wirtschaftlichkeit erzielt.

Abb. 11 zeigt den Schnitt durch eine solche Sauggasanlage der Deutzer Gasmotorenfabrik. Man erkennt links in dem oberen Teile des Ofens bei *e* den Wasserbehälter, der durch die aus dem Gaserzeuger *A* abziehenden heißen Gase erhitzt wird. Die von der rechts angedeuteten Gasmaschine *D* angesaugte Luft tritt in den Wasserbehälter *e* rechts oben bei *f* ein, sättigt sich hier mit Wasserdampf und tritt dann bei *h* durch den Kof in das Innere des Gaserzeugers. *B* ist eine Reinigungsvorrichtung, bestehend aus einem Behälter, gefüllt mit Koks, welcher von oben her mit Wasser berieselt wird. Das Gas tritt unten ein, durchströmt den Behälter (Skrubber) und tritt oben gereinigt und abgekühlt wieder aus, um durch einen kleinen Zwischenbehälter *C* nach der Maschine zu gelangen.

Auch bei diesen Gaserzeugern war es anfänglich nur möglich, sogenannte bitumenfreie Brennstoffe, Anthrazit oder Koks zu verwenden. Doch sind in der Ausbildung der Sauggaserzeuger in den letzten Jahren so bedeutende Fortschritte gemacht worden, daß es heutzutage wohl kaum einen Brennstoff mehr gibt, der sich nicht zur Herstellung von Sauggas zur Krafterzeugung in geeigneten Gaserzeugern verwenden ließe. Näheres hierüber siehe des Verf. Neue Wärmekraftmaschinen II, MuG. Bd. 86.

**Gichtgase und Koksosengase.** Das Bestreben, vorhandene Wärmequellen besser als bisher auszunutzen, in Verbindung mit dem Bestreben, den Gasmaschinen immer weitere Absatz- und Anwendungsgebiete zu verschaffen, führte gegen Ende des verflossenen Jahrhunderts dazu, die sogenannten Gichtgase (oder Hochofengase) sowie auch die Koksosengase zum Betriebe von Gasmaschinen zu verwenden. Näheres über diese beiden wichtigen Gasarten und die große wirtschaftliche Bedeutung ihrer Verwendung zur unmittelbaren Krafterzeugung siehe des Verf. Neuere Wärmekraftmaschinen II.

## Drittes Kapitel.

## Wirkungsweise der neueren Gasmaschinen.

**Grundbedingungen für zweckmäßiges Arbeiten.** Der neue „geräuschlose“ Otto, wie die Maschine im Gegensatz zu der einen großen Lärm verursachenden Maschine von Otto und Langen genannt wurde, war insofern ein Rückschritt, als bei den ersten Ausführungen der Gasverbrauch für eine Pferdestärke den der atmosphärischen Gasmaschine um ein geringes überstieg. Der große Fortschritt gegen die alte Maschine von Otto und Langen bestand zunächst rein äußerlich in der bedeutend einfacheren Bauart, in dem verhältnismäßig geräuschlosen Gange, und nicht zum wenigsten darin, daß die Abmessungen auch für größere Leistungen sich in bescheidenen Grenzen hielten. Aber auch abgesehen von diesen äußerlichkeiten zeigte es sich sehr bald, daß namentlich in der Verwendung verdichteter Gasgemische ein großer Fortschritt erzielt war. Er allein war die Grundlage für die hohe Entwicklung und den hohen Grad der Vollkommenheit, welchen die Gaskraftmaschinen in neuerer Zeit erreicht haben.

Es könnte hier vielleicht als ein Widerspruch erscheinen, daß ja die alte Maschine von Otto und Langen, die doch mit unverdichteten Gemischen arbeitete, trotzdem einen so geringen Gasverbrauch für die Pferdestärke aufwies. Dieser Widerspruch verschwindet jedoch, wenn man sich die Wirkungsweise der atmosphärischen Gaskraftmaschine etwas näher betrachtet. Wie wir früher gesehen hatten, saugte der Kolben zunächst auf einem kleinen Teil seines Weges ein Gemisch von Gas und Luft an. Dieses Gemisch wurde entzündet in einem Augenblicke, wo die Bewegung des Kolbens eine außerordentlich langsame war; das Gas verpuffte, und die durch die Verpuffung entstehenden hochgespannten Gase schleuderten den Kolben geschosartig in die Höhe. Die Verpuffung und das Emporschleudern des Kolbens geschahen nun so rasch, daß die infolge der Verpuffung sich bildende Wärme keine Zeit hatte, in die verhältnismäßig kühlen Zylinderwandungen überzugehen, das heißt verloren zu gehen. War der Kolben in seinem höchsten Punkte angelangt, dann trat ja allerdings infolge der Berührung der Gase mit den kalten Zylinderwandungen eine rasche und starke Abkühlung ein, die noch unterstützt wurde durch einen den Zylinder umgebenden Kühlwassermantel; aber das war ja gerade das, was hier angestrebt wurde. Durch diese rasche, weitgehende Abkühlung trat eine starke Luftverdünnung unter dem Kolben ein, welche bewirkte,



den größten Teil seines Hubes zurückgelegt hatte. An eine gute Ausnutzung des gewonnenen Arbeitsvermögens, das heißt an eine möglichst weitgehende Ausdehnung (Expansion) der hochgespannten Gase war dann während des letzten Teiles des Kolbenweges natürlich nicht mehr zu denken; die Gase entwichen mit hoher Temperatur und hoher Spannung aus dem Zylinder, und das in ihnen enthaltene Arbeitsvermögen ging für die Wirkung der Maschine verloren. Daß die Verpuffung des Gasgemisches in dem Augenblicke der größten Kolbengeschwindigkeit von größtem Nachteile für eine möglichst vollkommene Wärmeausnutzung sein mußte, ergibt sich noch aus folgender Betrachtung. Wir hatten früher (S. 20) gesehen, daß nach dem Gesetze von Gay-Lussac bei gleichbleibendem Volumen die Spannungen sich verhalten wie die absoluten Temperaturen. Bleibt also während der Verpuffung eines Gasgemisches das Volumen unverändert, so steigt die Spannung im Verhältnis der absoluten Temperaturen des Gemisches vor und nach der Zündung. Findet dagegen die Verpuffung nicht bei gleichbleibendem Volumen statt, das heißt: vergrößert sich das Volumen während der Verpuffung, in unserem Falle also dadurch, daß der Kolben schnell vorwärts schreitet, so geht schon während der Verpuffung ein Teil der entstehenden Wärme durch die Ausdehnung des Gemisches verloren, die durch die Verpuffung erreichbare Spannung kann demnach auch nicht die Höhe erreichen, die sie sonst bei gleichbleibendem Volumen erreichen würde. Man erkennt leicht, daß dieser Nachteil bei der atmosphärischen Gaskraftmaschine von Otto und Langen vermieden war. Hier trat die Verpuffung annähernd bei gleichbleibendem Volumen ein, da der Kolben in dem Augenblicke der Zündung nur eine sehr geringe Geschwindigkeit besaß.

Also eine Verpuffung bei möglichst kleinem und möglichst gleichbleibendem Volumen ist es, die bei Gaskraftmaschinen angestrebt werden muß, und beide Bedingungen erfüllte eben der „neue Otto“ in ziemlich vollkommener Weise, erstens durch die Verwendung verdichteter Gasgemische und zweitens durch die Zündung im Totpunkte der Maschine, das heißt bei kleinster Kolbengeschwindigkeit.

**Viertaktwirkung.** Um den als richtig erkannten Grundgedanken der Verwendung verdichteten Gasgemisches auszuführen, schlug Otto zunächst den Weg ein, den nach ihm noch andere mit mehr oder weniger Erfolg betraten, nämlich den, zwei Zylinder zu verwenden. In dem einen Zylinder sollte ein Gemisch von Gas und Luft angesaugt und während

des Kolbenrückganges verdichtet werden. Dieses verdichtete Gemisch sollte dann in einen zweiten Zylinder überströmen, hier in geeigneter Weise entzündet werden, worauf dann durch Ausdehnung der hochgespannten Verbrennungsgase Arbeit an einen in diesem zweiten Zylinder befindlichen Kolben übertragen werden sollte. Da sich jedoch bei der Ausführung dieser Bauart mancherlei Schwierigkeiten und Übelstände herausstellten, vor allen Dingen der Übelstand, daß die Maschine dadurch an Einfachheit verlor, kam Otto auf den Gedanken, die Vorgänge, die sich sonst in zwei Zylindern abspielten, in einen zu verlegen, das heißt die Maschine so einzurichten, daß sie zunächst während einer vollständigen Umdrehung, also während eines Kolbenhin- und -herganges als Verdichtungspumpe dient, bei der nächsten Umdrehung aber durch Entzündung des vorher verdichteten Gasgemisches als Wärmekraftmaschine arbeitet. Der Versuch gelang und erwies sich in der Folge als so außerordentlich günstig und zweckmäßig, daß heute noch mit Ausnahme einiger sogenannter Großgasmaschinen fast alle Gasmaschinen mit dieser von Otto zuerst bei seinen Maschinen angewendeten Arbeitsweise ausgeführt werden.

Der ganze Arbeitsvorgang in dem Zylinder einer neuen Ottoschen Gasmaschine spielt sich nur auf einer Kolbenseite ab, während die andere Seite des Kolbens dauernd von der Außenluft berührt wird. Die Reihenfolge der Arbeitsvorgänge ist dabei die folgende:

Erster Abschnitt: Der Kolben geht nach außen und saugt dabei ein Gemisch von Gas und Luft an: Ansaugabschnitt.

Zweiter Abschnitt: Der Kolben geht nach innen und verdichtet das vorher angesaugte Gasgemisch: Verdichtungsabschnitt.

Dritter Abschnitt: Wenn der Kolben seinen Weg nach innen beendet hat und eben wieder nach außen umkehren will (innerer Totpunkt der Maschine), findet die Zündung und damit die Verpuffung des Gasgemisches statt. Die hochgespannten Gase dehnen sich aus und treiben den Kolben nach außen, indem sie an ihn Arbeit übertragen: Arbeitsabschnitt.

Vierter Abschnitt: Der Kolben dreht wieder um, er geht nach innen und treibt dabei die verbrannten Gase, die ihre Spannung zum größten Teile verloren haben, aus dem Zylinder heraus: Auspuffabschnitt.

Hierauf beginnt das Spiel von neuem.

Wie man sieht, findet eine eigentliche Arbeitsübertragung auf den Kolben nur bei jedem vierten Hube statt, die für die anderen drei Hübe — Auspuff, Ansaugen, Verdichten — nötige Arbeit muß durch das Schwung-

rad der Maschine geleistet werden, wobei ihm die während des Arbeitsabschnitts zugeführte und in ihm aufgespeicherte Energie zum Teil wieder entzogen wird. Weil also nur bei jedem vierten Hube oder, wie man sagt, nur bei jedem vierten Takte der Maschine wirklich Arbeit geleistet wird, nennt man diese Arbeitsweise Viertaktwirkung und die in dieser Art arbeitenden Maschinen Viertaktmaschinen. Würde man da-

gegen Arbeitszylinder und Verdichtungszylinder, wie oben beschrieben, einzeln ausführen, dann fände bei jeder Umdrehung der Maschine eine Verpuffung statt, der Kolben erhielt bei jedem zweiten Hube oder Takte einen Arbeitsantrieb und man müßte dann diese Arbeitsweise eine Zweitaktwirkung, die in dieser Art arbeitenden Maschinen Zweitaktmaschinen nennen.

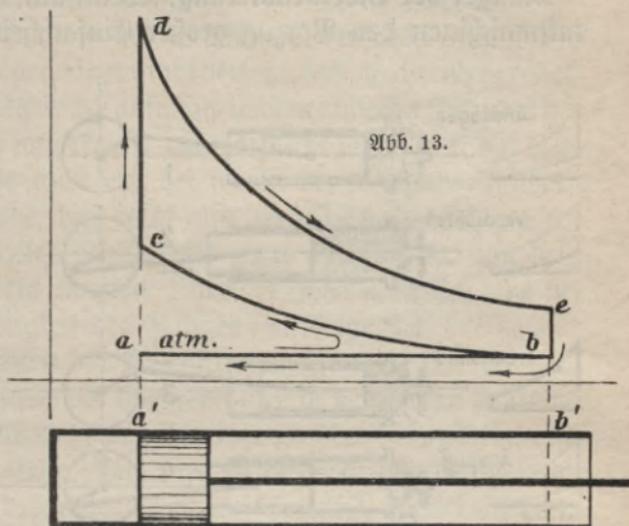
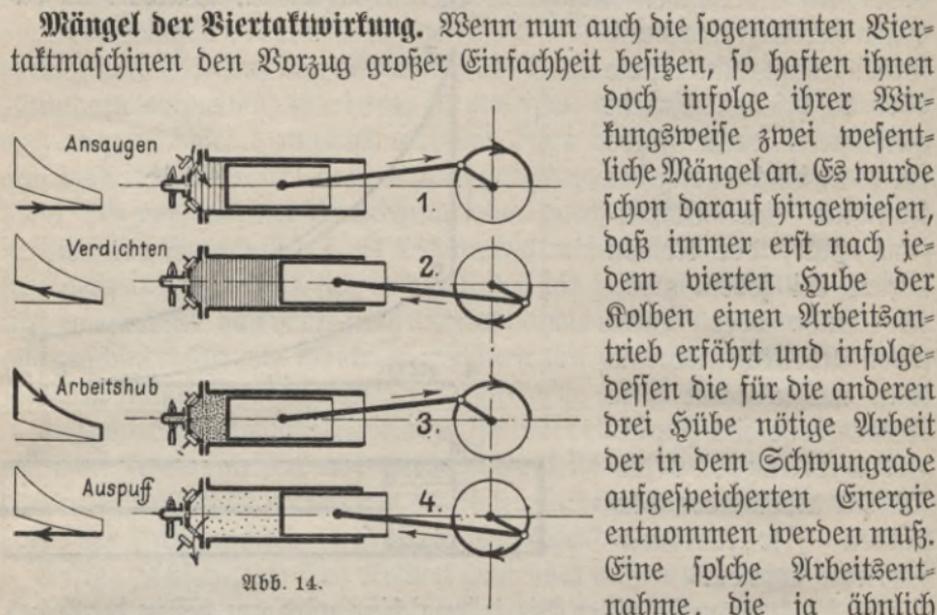


Abb. 13.

Die Wirkungsweise einer Viertaktmaschine wird am besten durch das nebenstehende theoretische Diagramm erläutert. Die äußersten Kolbenstellungen sind in dem unter dem Diagramm schematisch gezeichneten Zylinder mit  $a'$ ,  $b'$  bezeichnet, so daß also  $a'$  dem sogenannten inneren Totpunkte,  $b'$  dem äußeren Totpunkte der Maschine entspricht. Von  $a$  bis  $b$  saugt der Kolben Gasgemisch an, dessen Spannung annähernd mit der Spannung der Außenluft übereinstimmt (*atm.* Abb. 13). Auf dem Rückwege des Kolbens wird dieses Gasgemisch verdichtet, wodurch die Spannung allmählich bis zum Punkte  $c$  steigt. In diesem Augenblick tritt die Zündung ein, der Druck steigt infolge der Verpuffung fast augenblicklich bis zum Punkte  $d$ , die hochgespannten Gase dehnen sich aus und treiben den Kolben vorwärts, wobei ihr Druck allmählich bis zum Punkte  $e$  abnimmt. Durch Öffnung des Auspuffventils fällt der Druck bis auf die Außenluftspannung (Punkt  $b$ ) und mit dieser Spannung werden die Gase auf dem Rückwege des Kolbens ( $b, a$ ) aus dem Zylinder ausgetrieben, so daß also die Linie  $a, b$  gewissermaßen als Doppellinie zu denken

ist. Die von der Maschine geleistete Arbeit wird, wie früher gezeigt, durch die Fläche *b, c, d, e, b* dargestellt.

Abb. 14 zeigt noch einmal im Zusammenhang, in welcher Weise sich die einzelnen Vorgänge im Zylinder der Viertaktmaschine abspielen. Die Abbildung dürfte nach dem Vorhergehenden ohne weiteres verständlich sein.



wirkt, wie das Anziehen einer Bremse, hat aber selbstverständlich zur Folge, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schwungrades, das heißt der Gang der Maschine, sich während dieser drei Hübe allmählich verlangsamt, wenn auch nur in geringem Maße. Während des Arbeitshubes tritt dann wieder eine Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit ein und so weiter fort. Eine solche Unregelmäßigkeit des Ganges mag ja nun allerdings für manche Betriebe belanglos sein, für viele aber und namentlich z. B. zum Antrieb von Maschinen für die Erzeugung elektrischen Lichtes, für Spinnereimaschinen und dgl. wäre die Anwendung solcher Viertaktmaschinen ausgeschlossen, wenn es nicht möglich wäre, diese Unregelmäßigkeit der Umdrehungsgeschwindigkeit zu beseitigen, oder wenigstens stark herabzumindern. Dies kann nun in der Tat geschehen, und zwar zunächst einmal dadurch, daß man die Maschinen mit einem oder zwei schweren Schwungrädern versieht. In den Massen dieser Schwungräder lassen sich so große Mengen mechanischer Arbeit anhäufen, daß es schon einer be-

deutenden Arbeitsentnahme bedarf, um die Umfangsgeschwindigkeit und damit die Umdrehzahl in einer merkbaren und unzulässigen Weise zu verringern. Bei größeren Maschinen, bei denen entsprechend schwere Schwungräder zu bedeutende Abmessungen erhalten würden, kann eine größere Gleichmäßigkeit des Ganges noch in der Weise erzielt werden, daß man die Maschine nicht mit einem, sondern mit zwei Arbeitszylindern ausführt, deren Kolben an zwei zueinander gleichgerichteten Nurbeln arbeiten. Die Arbeitsvorgänge in diesen beiden Zylindern werden nun aber so verteilt, und gewissermaßen gegeneinander versetzt, daß, während der Kolben des einen Zylinders Gasgemisch ansaugt, in dem anderen Zylinder der Arbeitshub stattfindet, und umgekehrt. Man erkennt leicht, daß auf diese Weise die Schwungradwelle nicht erst bei jedem vierten Hube, sondern schon bei jedem zweiten Hube, das heißt also bei jeder Umdrehung der Maschine, einen Arbeitsantrieb erhält, und zwar abwechselnd von dem ersten Zylinder und von dem zweiten Zylinder, was natürlich eine bedeutend größere Gleichförmigkeit des Ganges zur Folge hat.

Ein weiterer großer Nachteil der Viertaktwirkung ergibt sich aus dem Umstande, daß die Verdichtung des Gasgemisches in demselben Zylinder stattfinden muß, wie die Ausdehnung der infolge der Verpuffung entstandenen hochgespannten Gase. Daß dies in der Tat ein Nachteil ist, zeigt schon die Betrachtung des Diagramms auf Seite 59. Weiter als höchstens bis zum Punkte *e* kann die Ausdehnung der Verbrennungsgase nicht getrieben werden, da der Kolben hier bereits das Ende seines Hubes erreicht hat. Nun besitzen aber die Gase im Punkte *e* noch eine ziemlich beträchtliche Spannung, nämlich etwa 3 atm Überdruck über die Außenluft, eine Spannung also, mit welcher ältere Dampfmaschinen z. B. erst anfangen zu arbeiten, und diese Spannung kann eben hier nicht mehr ausgenutzt werden, weil der Kolben im Punkte *b'* das Ende seines Hubes erreicht hat.

Durch Änderung der Verdichtung oder der Füllung kann manchmal die Ausdehnung (zum Teil auf Kosten des Wirkungsgrades) noch etwas weiter getrieben werden. Trotzdem bleibt aber der Nachteil bestehen, daß die Ausdehnung nicht unabhängig von anderen Vorgängen beliebig weit ausgenutzt werden kann.

Der erste Abschnitt des Kreisprozesses: das **Ansaugen**. Schon bei der Besprechung der verschiedenen Betriebsmittel hatten wir gesehen, daß Gas die Fähigkeit besitzt, sich außerordentlich rasch mit Luft in jedem

beliebigen Verhältnisse zu vermischen. Wir hatten gefunden, daß Leuchtgas in geschlossenem Raume anfängt, unter Druckentwicklung zu verbrennen oder, wie man sagt, zu verpuffen, wenn ein Raumteil Gas mit etwa vier Raumteilen Luft gemischt ist; wir hatten gefunden, daß eine Mischung von einem Raumteil Leuchtgas mit vierzehn Raumteilen Luft bei Außenluftspannung aufhört, entzündbar zu sein, und hatten endlich gefunden, daß es zwischen diesen beiden Grenzen ein sogenanntes stärkstes Gasgemisch gibt, ein Gemisch von einem Raumteil Gas mit etwa fünf Raumteilen Luft, bei dessen Verbrennung in geschlossenem Raume der größte Druck und die höchste Temperatur erzielt werden. Man könnte nun glauben, daß es zum Betriebe von Gasmaschinen am vorteilhaftesten wäre, immer dieses stärkste Gasgemisch zu verwenden; dies ist aber durchaus nicht der Fall. Erstens nämlich würde die Verpuffung eines solchen Gasgemisches so schnell und heftig vor sich gehen, daß dadurch das Triebwerk der Maschine allzu stark beansprucht würde, ferner aber hätte die bei einer solchen Verpuffung auftretende hohe Temperatur die Notwendigkeit zur Folge, eine besonders kräftige Kühlung der Zylinderwandungen eintreten zu lassen, was wiederum mit einem großen Wärme-, das heißt Arbeitsverlust verbunden wäre. Das Bestreben geht daher in neuerer Zeit dahin, stark verdünnte Gasgemische zu verwenden, doch darf hierbei nicht außer acht gelassen werden, daß dieses Gemisch eine weitere Verdünnung noch dadurch erfährt, daß von dem vorhergehenden Auspuffabschnitt ein Teil der Verbrennungsgase in dem sogenannten Laderaume der Maschine zurückbleibt und sich mit der frisch angesaugten Ladung vermischt. Dabei versteht man unter Laderaum denjenigen Raum des Arbeitszylinders, welcher von dem verdichteten Gasgemische eingenommen wird, wenn der Kolben in seiner inneren Totlage steht. Man ersieht leicht, daß die Menge dieses im Zylinder nach dem Auspuffabschnitte zurückbleibenden Gases um so geringer sein wird, je kleiner der Raum ist, den das Gasgemisch nach seiner Verdichtung einnimmt, das heißt, je höher die Spannung ist, bis zu welcher die Verdichtung getrieben wird.

Zweiter Abschnitt: das **Verdichten**. Es ist leicht ersichtlich, daß die Kraftwirkung einer Verpuffung um so größer sein wird, je größer die Menge des Gasgemisches ist, welche zur Verpuffung gelangt. Ist z. B. die Menge des Gasgemisches bei sonst gleicher Beschaffenheit doppelt so groß, so ist natürlich auch die Kraftwirkung doppelt so groß, und so weiter fort. Um nun die Menge des angesaugten Gemisches zu steigern, könnte

man den Weg einschlagen, daß man sehr lange Zylinder verwendete, den Kolben also einen sehr langen Weg zurücklegen ließe. Derartige Maschinen hätten aber einmal den Nachteil, daß ihre Abmessungen, namentlich in der Längsrichtung, zu bedeutend würden, ferner aber würde in erhöhtem Maße der Übelstand eintreten, der bereits auf Seite 56 bei der Lenoirmaschine besprochen wurde, nämlich der, daß die bei der Verpuffung sich bildenden heißen Gase im Augenblicke der Verbrennung mit einem großen Teile der verhältnismäßig kühlen Zylinderwandungen in Berührung ständen, was einen starken Wärmeverlust unvermeidlich zur Folge hätte. Beide Übelstände vermeidet man, wenn man das angesaugte Gasgemisch vor der Entzündung verdichtet. Man sieht zunächst, daß die durch eine Verpuffung zu erreichende Kraftwirkung mit der Höhe der Verdichtung wächst; denn beträgt z. B. der oben erwähnte Laderaum der Maschine gerade 1 cbdm, so wird die Kraftwirkung einer Verpuffung unter sonst gleichen Umständen um das 2, 3, 4 . . . fache steigen, wenn ich in diesen Raum von 1 cbdm 2, 3, 4 . . . cbdm Gasgemisch von Außenluftspannung hineinpresse, das heißt wenn ich das Gasgemisch um das 2, 3, 4 . . . fache verdichte. Daneben ist dann aber noch der Vorteil erreicht, daß dieses ganze Ladungsgemisch im Augenblicke der Zündung mit einem verhältnismäßig kleinen Teile der Zylinderwandung in Berührung steht. Ein weiterer großer Vorteil, der durch die Verdichtung erreicht wird, besteht in der erhöhten Zündfähigkeit des angesaugten Gasgemisches. Trotzdem sich nämlich, wie früher gezeigt wurde, Gas und Luft in kurzer Zeit sehr innig miteinander vermischen (diffundieren), ist die Gleichartigkeit des angesaugten Gemisches doch keine vollkommene. Man kann sich das in der Weise klar machen, daß man sich das Gas in sehr viele kleine Teilchen zerlegt denkt, deren jedes von einer gewissen Menge Luft umgeben ist. Durch die Verdichtung kommen gewissermaßen alle diese von Luft umgebenen Gas-Teilchen näher aneinander, und zwar um so näher, je weiter die Verdichtung getrieben wird, die Entzündung wird also viel rascher von einem Gas-Teilchen zum anderen fortschreiten können, als wenn die Teilchen, wie es bei unverdichtetem Gemische der Fall ist, weiter voneinander entfernt sind. Infolge davon können aber auch wiederum viel stärker verdünnte Gasgemische verwendet werden, als ohne Verdichtung; diese schwachen Gasgemische verbrennen, wie aus der Tafel auf Seite 49 ersichtlich ist, mit geringerer Anfangstemperatur, es braucht daher auch weniger Wärme durch das Kühlwasser abgeführt zu werden. Endlich ist noch zu beachten, daß mit höherer Verdichtung die durch die Verpuffung entstehende Span-

nung eine höhere wird. Demgemäß bekommt auch die Ausdehnungslinie *de* im Diagramm Seite 59 eine höhere Lage, der Flächeninhalt des Diagramms wird also größer als der bisherige Flächeninhalt, was, wie wir wissen, gleichbedeutend ist mit einer Vergrößerung der im Zylinder geleisteten Arbeit. — Die angeführten Betrachtungen machen es wohl auch ohne lange theoretische Erörterungen zur Genüge klar, welche großen Vorteile die Verdichtung der Gasgemische vor der Zündung bietet, und in der Tat zeigt auch die Theorie, daß der thermische Wirkungsgrad einer Gasmaschine (das Verhältnis der Differenz der zu- und abgeführten Wärmemenge zur gesamten zugeführten Wärmemenge), sie mag nun mit Leuchtgas oder Gichtgas, mit Petroleum- oder Benzindämpfen und dgl. betrieben werden, um so höher ausfällt, das heißt, daß der Wirkungsgrad um so besser wird, je höher die Verdichtung des Gasgemisches vor der Zündung getrieben wird.

In neueren Leuchtgasmaschinen geht man mit dieser Verdichtung bis auf etwa 6 atm Überdruck über die Außenluft, das heißt also: der Laderaum der Maschine wird so groß gewählt, daß das mit Außenluftspannung angesaugte Gasgemisch am Ende des Verdichtungsabschnittes, kurz vor der Zündung, diese Spannung erhält.

Treibt man die Verdichtung zu hoch, so kann infolge der bei der Verdichtung stattfindenden Erhitzung des Gasgemisches leicht eine vorzeitige Selbstentzündung, eine sogenannte Frühzündung, eintreten. Eine solche muß aber auf alle Fälle vermieden werden, da eine Zündung vor dem inneren Totpunkte der Maschine den Kolben und damit das Schwungrad plötzlich nach der entgegengesetzten Seite drehen würde und der dadurch auftretende heftige Stoß gegebenenfalls die Maschine zertrümmern könnte.

Eine hohe Verdichtung ist nur dann möglich, wenn man entweder stark verdünnte Ladungsgemische oder Gase von geringem Heizwerte verwendet. Derartige Gase sind aber das Kraftgas und vor allen Dingen das Gichtgas, dessen Heizwert nur etwa 950 WE/cbm beträgt. In der Tat arbeiten Kraftgasmaschinen und namentlich Gichtgasmaschinen mit wesentlich höheren Verdichtungsdrücken als Leuchtgasmaschinen, nämlich mit 11 atm und darüber, woraus sich ergibt, daß der thermische Wirkungsgrad, der nach den oben angestellten Betrachtungen mit der Verdichtung wächst, bei Kraftgasmaschinen und Gichtgasmaschinen ein besserer sein muß, als der der Leuchtgasmaschinen. Durch diesen höheren Wirkungsgrad wird der Nachteil des geringeren Heizwertes dieser Gase gegenüber dem Leuchtgas zum großen Teile wieder ausgeglichen.

**Dritter Abschnitt: Zündung und Verpuffung.** Über die Mittel, welche dazu dienen, eine Zündung des Gasgemisches zu bewirken, soll später im Zusammenhange gesprochen werden, hier möge nur der Zündungsvorgang an sich kurz erörtert werden. Die Zündung erfolgt bei allen neueren Gasmaschinen im inneren Totpunkte der Maschine oder wenigstens ganz unmittelbar danach, und es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß damit zwei wichtige, für eine gute Wärmeausnutzung notwendig zu stellende Bedingungen erfüllt sind: eine Verbrennung bei möglichst kleinem, möglichst gleichbleibendem Volumen. Zündung und Verpuffung des Gasgemisches geschehen jedoch durchaus nicht etwa in unmeßbar kurzer Zeit, also explosionsartig. Läßt man die Diagramme vermittlems eines Indikators von der Maschine selbst aufzeichnen, so erkennt man, daß bei der Zündung die Spannung (*c, d*, Abb. 13 S. 59) in ihrem untersten Teil senkrecht ansteigt, während der obere Teil sich etwas nach rechts, das heißt nach der Richtung der Ausdehnungslinie hinüberneigt, so daß die höchste Spannung erst erreicht ist, wenn der Kolben einen wenn auch kleinen Weg vom Totpunkte aus zurückgelegt hat. Erhöht man während des Ganges der Maschine die Verdünnung des Gasgemisches, indem man weniger Gas zuströmen läßt, und läßt dann die Maschine vermittlems des Indikators die Diagramme aufzeichnen, so sieht man, daß die Linie *c, d* (Abb. 13) sich immer weiter nach rechts hinüberneigt, die Verbrennung also immer später beendet ist, je weiter die Verdünnung des Gasgemisches getrieben wird. Damit sinkt aber auch sofort der Wirkungsgrad der Maschine, denn die Gase haben nicht mehr genügend Zeit, sich auszudehnen, sie verlassen die Maschine mit hoher Spannung und hoher Temperatur, ihre Wärme wird also unvollkommen ausgenutzt.

**Vierter Abschnitt: Auspuff.** Wenn der Kolben bei dem Arbeitsabschnitt etwa  $\frac{9}{10}$  seines Hubes zurückgelegt hat, öffnet sich das Ausströmventil, die Gase, welche in diesem Augenblicke noch etwa eine Spannung von 3 atm haben, verlieren diese Spannung bis zum Ende des Hubes vollständig und werden dann bei der Rückkehr des Kolbens ungefähr mit Außenluftspannung und einer Temperatur von rund 400° C aus der Maschine ausgetrieben. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß hiermit ein beträchtlicher Wärme-, das heißt Arbeitsverlust verbunden ist, der sich deswegen nicht vermeiden läßt, weil eben Verdichtung und Ausdehnung in einem und demselben Zylinder stattfinden. Man liegt allerdings der Gedanke nahe, am Ende des Arbeitsabschnittes die immer noch

verhältnismäßig hoch gespannten Gase nicht in die freie Luft, sondern in einen zweiten Zylinder hinüberzudrücken, wo durch eine weitere Ausdehnung das Arbeitsvermögen vollständig ausgenutzt werden könnte. Der Grund, warum diese in der That ausgeführten Versuche bisher gescheitert sind, liegt unter anderem darin, daß während des ganzen Ausströmens und namentlich während des Überströmens in den zweiten Zylinder die Gase mit so viel kalten Wandungen in Berührung kommen, daß sie einen großen Teil der ihnen innewohnenden Wärme verlieren und daher in dem Zylinder nur noch eine geringe Arbeit zu leisten imstande sind.

Auch der Versuch, durch eine Abänderung des Kurbeltriebes den Kolben während des Ansaugens einen kürzeren Weg zurücklegen zu lassen als während des Arbeitshubes und dadurch eine weitergehende Ausdehnung zu schaffen, hat wegen des sehr verwickelten Getriebes zu keinem Erfolge geführt.

**Zweitaktmaschinen.**<sup>1)</sup> Um die im vorhergehenden gekennzeichneten Uebelstände der Viertaktmaschinen zu beseitigen, wurde schon frühzeitig versucht, den Viertakt bei den Gasmaschinen durch den sogenannten Zweitakt zu ersetzen, das heißt durch eine Arbeitsweise, bei welcher eben nicht erst bei jedem vierten, sondern schon bei jedem zweiten Hube des Kolbens, also bei jeder Umdrehung der Maschinenwelle eine Verpuffung und damit ein Arbeitsantrieb der Maschinenwelle stattfindet.

Offenbar müssen derartige Maschinen gegenüber den Viertaktmaschinen mancherlei Vorzüge besitzen, so z. B. den, daß ihr Gang gleichmäßiger ist als der der Viertaktmaschinen, aus Gründen, die bei der Besprechung der Viertaktwirkung eingehend erörtert wurden; dann aber müssen auch, theoretisch wenigstens, die Zweitaktmaschinen bei gleicher Größe des Arbeitszylinders und gleicher Umdrehzahl die doppelte Leistung ergeben wie eine Viertaktmaschine, weil eben in der Zeiteinheit die doppelte Anzahl von Arbeitshüben stattfindet. Sie müssen somit bei gleicher Leistung bedeutend kleiner, daher billiger ausfallen als die Viertaktmaschinen.

Der zunächstliegende Weg, bei jeder Umdrehung der Welle einen Krafthub zu bekommen, ist offenbar der, die Gasmaschinen nach dem Vorbilde der Dampfmaschinen doppeltwirkend zu bauen, das heißt den Viertakt nicht bloß auf einer, sondern auf beiden Seiten des Kolbens zur Ausführung zu bringen.

Derartige doppeltwirkende Viertaktmaschinen, bei deren Bau die Durchführung der Kolbenstange durch den Zylinderdeckel, sowie die Küh-

1) Vgl. Anmerkung S. 51.

lung des auf der einen Seite nicht mehr mit der Außenluft in Berührung stehenden Kolbens anfänglich Schwierigkeiten bereiteten, werden heute von vielen Fabriken bis zu den größten Leistungen (1500 PS in einem Zylinder) mit bestem Erfolge ausgeführt.

Ein anderer Weg, die Gasmaschine im Zweitakt arbeiten zu lassen, wurde in der durch das Diagramm Abb. 15 veranschaulichten Form zu-

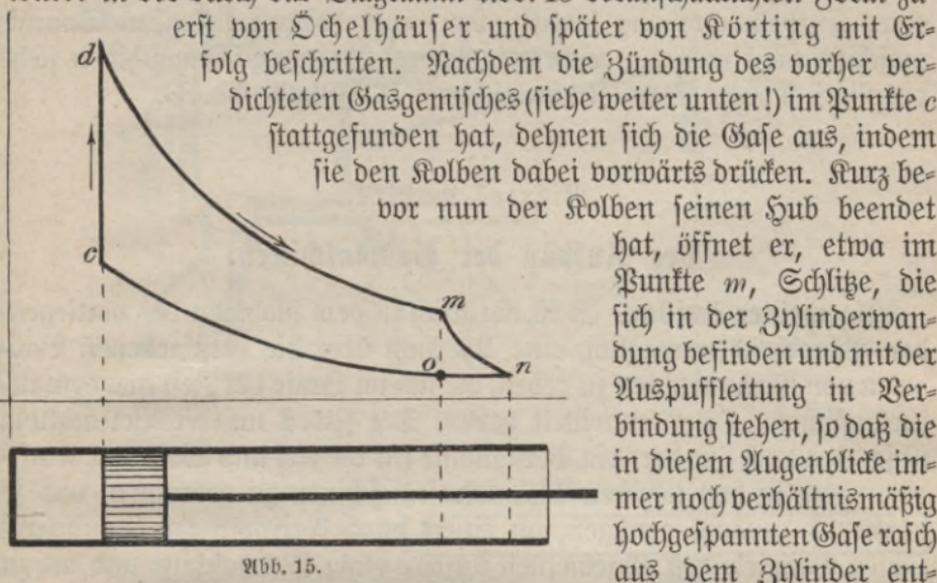


Abb. 15.

erst von Schellhäuser und später von Körting mit Erfolg beschritten. Nachdem die Zündung des vorher verdichteten Gasgemisches (siehe weiter unten!) im Punkte *c* stattgefunden hat, dehnen sich die Gase aus, indem sie den Kolben dabei vorwärts drücken. Kurz bevor nun der Kolben seinen Hub beendet hat, öffnet er, etwa im Punkte *m*, Schlitze, die sich in der Zylinderwandung befinden und mit der Auspuffleitung in Verbindung stehen, so daß die in diesem Augenblicke immer noch verhältnismäßig hochgespannten Gase rasch aus dem Zylinder entweichen. Während dieses Auspuffens dringt von dem linken Zylinderende her frische, sogenannte Spülluft mit geringem Überdrucke in den Zylinder ein, wodurch der letzte Rest der Verbrennungsgase aus dem Zylinder herausgetrieben („herausgespült“) wird. Unmittelbar darauf, etwa während der Kolben den Weg *n—o* zurücklegt, wird nun bei fortdauernder Lufteinströmung ebenfalls mit geringem Überdrucke Gas in den Zylinder hineingedrückt. Im Punkte *o* hört dann das Zuströmen von Gas und Luft auf, worauf der rückkehrende Kolben das nun im Zylinder befindliche Gasluftgemisch verdichtet. Eine nach einem solchen Diagramme arbeitende Maschine ist z. B. die in den Abb. 35—37 (S. 100) dargestellte Petroleummaschine.

Zum Betriebe derartiger Zweitaktmaschinen gehören also stets zwei besondere Pumpen, um Brennstoff und Luft in den Zylinder hineinzudrücken. Die Maschinen eignen sich daher, wenn es sich um gasförmige Brennstoffe handelt, im allgemeinen ihrer verwickelten Bauart wegen (ebenso, wie die vorher beschriebenen doppelwirkenden

Viertaktmaschinen) nur für größere Leistungen, für welche sie aber schon in großer Zahl ausgeführt worden sind.

Bringt man endlich, wie dies bei den Maschinen von Körting der Fall ist, einen solchen eben beschriebenen Zweitakt auf jeder der beiden Kolbenseiten zur Ausführung, so erhält man offenbar eine Eintaktmaschine, das heißt eine Maschine, welche sich, was die Zahl der Krafthübe während einer Kurbelumdrehung betrifft, von einer doppeltwirkenden Dampfmaschine nicht mehr unterscheidet. Näheres über Zweitaktmaschinen siehe des Verf. Neuere Wärmekraftmaschinen II. NtuG. Bd. 83.

## Viertes Kapitel.

### Der Aufbau der Gasmaschinen.

**Allgemeiner Aufbau.** Es ist natürlich in dem Rahmen des vorliegenden Bändchens unmöglich, eine Übersicht über die verschiedenen Bauarten von Gasmaschinen zu geben, die sich im Laufe der Zeit aus dem ursprünglichen „Otto“ entwickelt haben. Der Zweck unserer Betrachtung ist ja aber auch nur der, ein Verständnis für die Art und Weise der Krafterzeugung in den neueren Wärmekraftmaschinen zu gewinnen, und so dürfte es zunächst genügen, an einem durch Gerippfiskizzen veranschaulichten Beispiele den allgemeinen Aufbau einer Gasmaschine und die zu ihrer Arbeitsweise nötigen Einzelheiten in Kürze zu erläutern.

Der allgemeine Aufbau ist bei der Mehrzahl der heutigen Gasmaschinen im wesentlichen derselbe geblieben wie bei dem ersten „Otto“. Als Vorbild diente hier, wie bei der Lenoirmaschine, die Dampfmaschine, deren Einzelheiten wir zum großen Teile bei der Gasmaschine wiederfinden. In einem Zylinder bewegt sich ein dicht an die Wandungen anschließender Kolben, dessen hin- und hergehende Bewegung durch eine Schubstange, auch wohl Pleuelstange genannt (*P* Abb. 16 u. 17), auf eine Kurbel *K* übertragen und so in eine umlaufende Bewegung umgesetzt wird. Die Kurbel sitzt auf einer mehrfach gelagerten Welle, welche ein Schwungrad, außerdem aber häufig noch eine Riemenscheibe trägt, vermittels deren, unter Zuhilfenahme eines Riemens, die Arbeit auf irgendeine andere Welle übertragen wird. An die Stelle der bei der Dampfmaschine häufig verwendeten Stirnkurbel tritt hier in fast allen Fällen die sogenannte gekröpfte Welle (*w* Abb. 17), das heißt eine Welle, welche so gebogen ist, daß die Kurbel sich nicht an einem Ende (an der „Stirn“ der

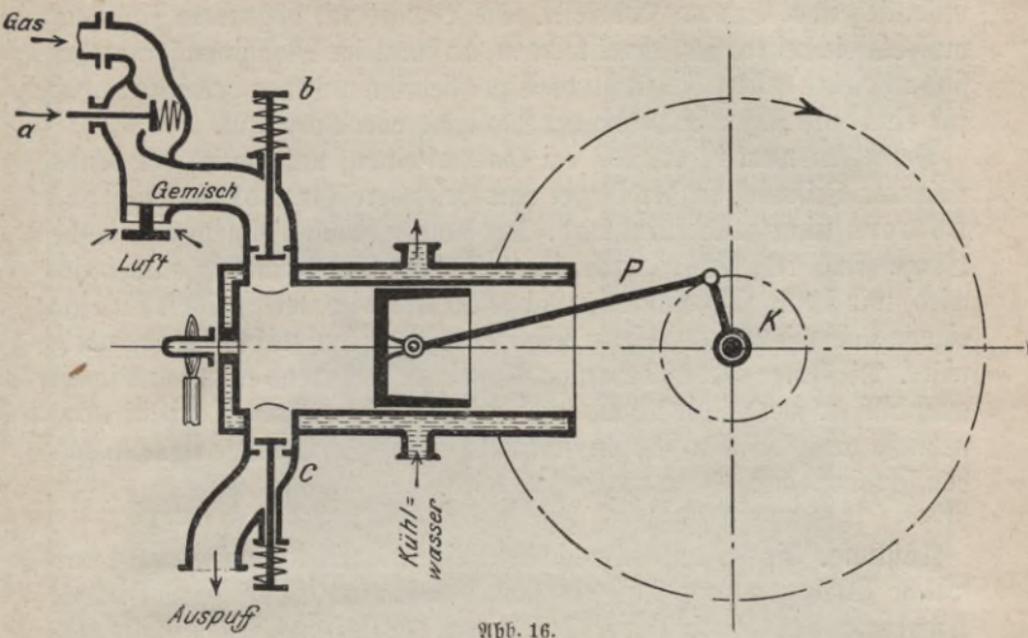


Abb. 16.

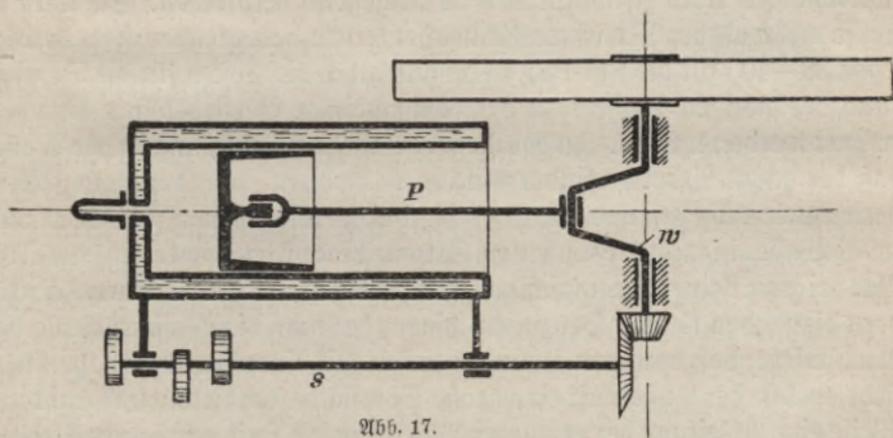


Abb. 17.

Welle), sondern in der Mitte befindet. Die Lage des Zylinders ist in der Mehrzahl der Fälle eine wagerechte. Man nennt derartige Maschinen liegende Maschinen, im Gegensatz zu den stehenden Maschinen, bei welchen der Zylinder eine lotrechte Lage erhält. Die letztgenannte Bauart mit lotrechtem Zylinder wird gewöhnlich nur dann angewendet, wenn es sich darum handelt, eine Maschine herzustellen, welche möglichst wenig Platz einnimmt. Abb. 21 S. 76 zeigt z. B. das Bild einer stehenden Maschine mit

untenliegender Schwungradwelle. Die Bauart mit liegendem Zylinder muß als die bessere bezeichnet werden, da derartige Maschinen standfester sind und eine bessere Zugänglichkeit zu allen ihren Teilen gewähren, was für eine gute Instandhaltung der Maschine von Vorteil ist.

Bemerkenswert ist es, daß bei Gasmaschinen, namentlich bei denen kleinerer Leistung, in der Regel eine besondere Geradföhrung des Kolbens nicht ausgeföhrt wird. Der Kolben erhält vielmehr eine solche Länge (Abb. 16), daß dadurch eine besondere Geradföhrung entbehrlich wird, und somit auch die ganze Länge erspart wird, welche sonst für eine eigene Kolbenstange und einen besonderen Kreuzkopf mit Gleitbahn nötig wäre. Die Folge ist, daß derartige Maschinen bedeutend kürzer und somit auch billiger werden, während man andererseits den Nachteil mit in Kauf nehmen muß, daß der Zapfen, um welchen die Schubstange in dem Kolben schwingt, nur schwer zugänglich wird.

**Kühlung.** Eine allen Gasmaschinen eigentümliche Einrichtung, durch welche sie sich von der Dampfmaschine wesentlich unterscheiden, ist die Kühlung des Zylinders. Daß sie ein der Gasmaschine anhaftendes notwendiges Übel ist, wurde bereits eingehend besprochen. Sie wird es um so mehr, als der Bedarf an Kühlwasser kein unbedeutender ist (er beträgt etwa 30—40 l für die Std-PS), und namentlich die Kosten für die Beschaffung des nötigen Wassers zu den allgemeinen Betriebskosten hinzuge-rechnet werden müssen. In der Regel geschieht die Kühlung in der Weise, daß der ganze Arbeitszylinder mit einem zweiten Zylinder, dem Zylinder-mantel, umgeben und durch den hierdurch entstandenen Zwischenraum kaltes Wasser in ununterbrochenem Strome hindurchgeleitet wird (Abb. 16). Nur bei ganz kleinen Gasmaschinen, z. B. bei den zum Antriebe von Fahrrädern dienenden kleinen Benzinmaschinen, hat man die Wasserkühlung dadurch ersetzt, daß man den Zylinder außen mit einer Anzahl Rippen versehen, welche der Außenluft eine große Oberfläche darbieten und auf diese Weise eine Ableitung der erzeugten Wärme in die Luft ermöglichen sollen. Macht die Beschaffung von stets zu erneuerndem Kühlwasser aus irgendwelchen Gründen Schwierigkeit, so kann man sich in mancherlei Weise helfen. Bei Automobilen z. B. wird immer wieder dasselbe Wasser verwendet, indem man es nach dem Austritt aus dem Zylindermantel vermittels einer kleinen Pumpe durch einen sogenannten Luftkühler (einen Behälter mit kleinem Querschnitt, aber großer Oberfläche) hindurch- und wieder in den Zylindermantel hineindrückt. Ein anderes Hilfsmittel, wel-

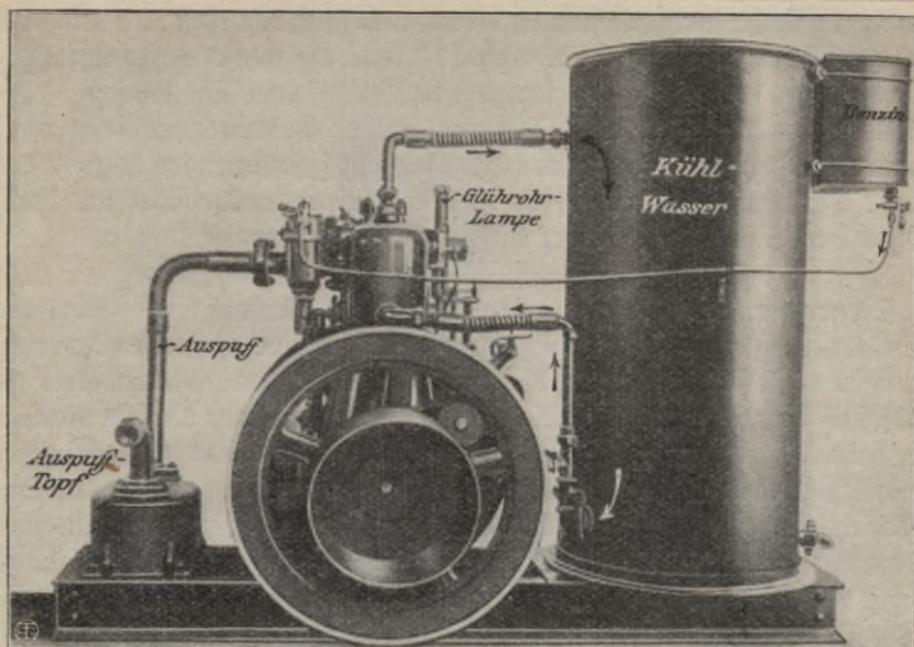


Abb. 18.

ches namentlich bei Maschinen kleinerer Leistung angewendet wird, besteht darin, daß man (Abb. 18) in der Nähe der Maschine einen größeren Wasserbehälter aufstellt und vermittels zweier Rohre den Kühlmantel des Zylinders mit dem oberen und mit dem unteren Teile dieses Gefäßes in Verbindung bringt. Da warmes Wasser bekanntlich leichter ist als kaltes, stellt sich nach einiger Zeit von selbst ein Kreislauf des Wassers in der Weise ein, daß das in der Maschine erwärmte Wasser durch das obere Rohr in den Wasserbehälter hinüberwandert, während durch das untere Rohr das im Behälter abgekühlte Wasser in den Kühlmantel nachströmt. Abb. 18 zeigt eine solche Anordnung in Verbindung mit einer kleinen Benzinnmaschine. Die eingezeichneten Pfeile geben die Richtung an, in welcher das Wasser umläuft.

Ein drittes Hilfsmittel endlich findet sich hauptsächlich bei Benzin- und Spirituslokomobilen und -lokomotiven. Bekanntlich kann Wasser in einem offenen Gefäße höchstens eine Temperatur von etwa  $100^{\circ}$  annehmen. Bildet man nun den Kühlwassermantel des Zylinders zu einem solchen offenen, mit Wasser gefüllten Gefäße aus, so wird auch die Zylinderwandung niemals jene für eine Wärmekraftmaschine sehr niedrige Temperatur übersteigen können. Allerdings wird das Wasser allmählich verdampfen (daher

auch der Name Verdampfungskühlung) und muß von Zeit zu Zeit durch neues Wasser ersetzt werden. Abb. 19 zeigt eine solche Verdampfungskühlung bei einer Maschine für flüssige Brennstoffe. Die Maschine, gebaut von der Motorenfabrik Oberursel, ist eine Maschine, wie sie in Benzinlokomotiven eingebaut wird (daher die sehr zusammengedrückte Bauart). Der Kühlwassermantel ist oben kastenartig ausgebildet und steht durch den Schornstein mit der Außenluft in Verbindung.

**Steuerung.** Zu den wichtigsten Teilen der Gasmaschine gehört die Steuerung, unter der man zusammenfassend alle diejenigen Vorrichtungen versteht, durch welche die vorher eingehend beschriebenen Arbeitsabschnitte erreicht werden. Wie wir gesehen hatten, tritt ein jeder solcher Arbeitsabschnitt immer erst bei jedem vierten Hube, das heißt bei jeder zweiten Umdrehung der Maschine ein, es werden mithin alle die erwähnten Vorrichtungen, welcher Art sie auch sein mögen, nicht unmittelbar von der Hauptwelle der Maschine angetrieben werden dürfen, da sie ja sonst bei jeder Umdrehung der Maschine ihre Wirkung ausüben würden. Die Hauptwelle der Maschine treibt daher zunächst eine zweite, meist senkrecht zu ihr verlaufende kleinere Welle, und zwar durch Verwendung geeigneter Zahnräder in der Weise an, daß diese zweite Welle, Steuerwelle genannt, in der Zeiteinheit nur halb so viel Umdrehungen macht als die Hauptwelle. Von dieser Steuerwelle (S Abb. 17, 19 und 29) aus werden dann die einzelnen Schieber, Ventile und dgl. in Bewegung gesetzt, und es ist leicht ersichtlich, daß dadurch alle diese Steuervorrichtungen immer erst bei jeder zweiten Umdrehung der Maschine in Wirksamkeit treten.

Bei dem ursprünglichen „Otto“ geschah das Einlassen des Gasgemisches in die Maschine, sowie die Zündung — eine sogenannte Schieberflammenzündung — mit Hilfe eines Schiebers, welcher von der obengenannten Steuerwelle angetrieben wurde. Heutzutage werden zur Steuerung der Gasmaschine fast ausschließlich die leichter herzustellenden und leichter in Stand zu haltenden Ventile verwendet, und zwar kann man bei jeder Gasmaschine in der Regel drei verschiedene Ventile unterscheiden — das Gasventil (*a*), das Gemischeinlaßventil (*b*) und das Auslaßventil (*c*) —, deren Wirkungsweise aus der Gerippsskizze Abb. 16, S. 69 ersichtlich ist. Die Anordnung der Ventile, das heißt ihre Lage zueinander, sowie die Lage in bezug auf die Maschine, kann natürlich sehr mannigfaltig sein.

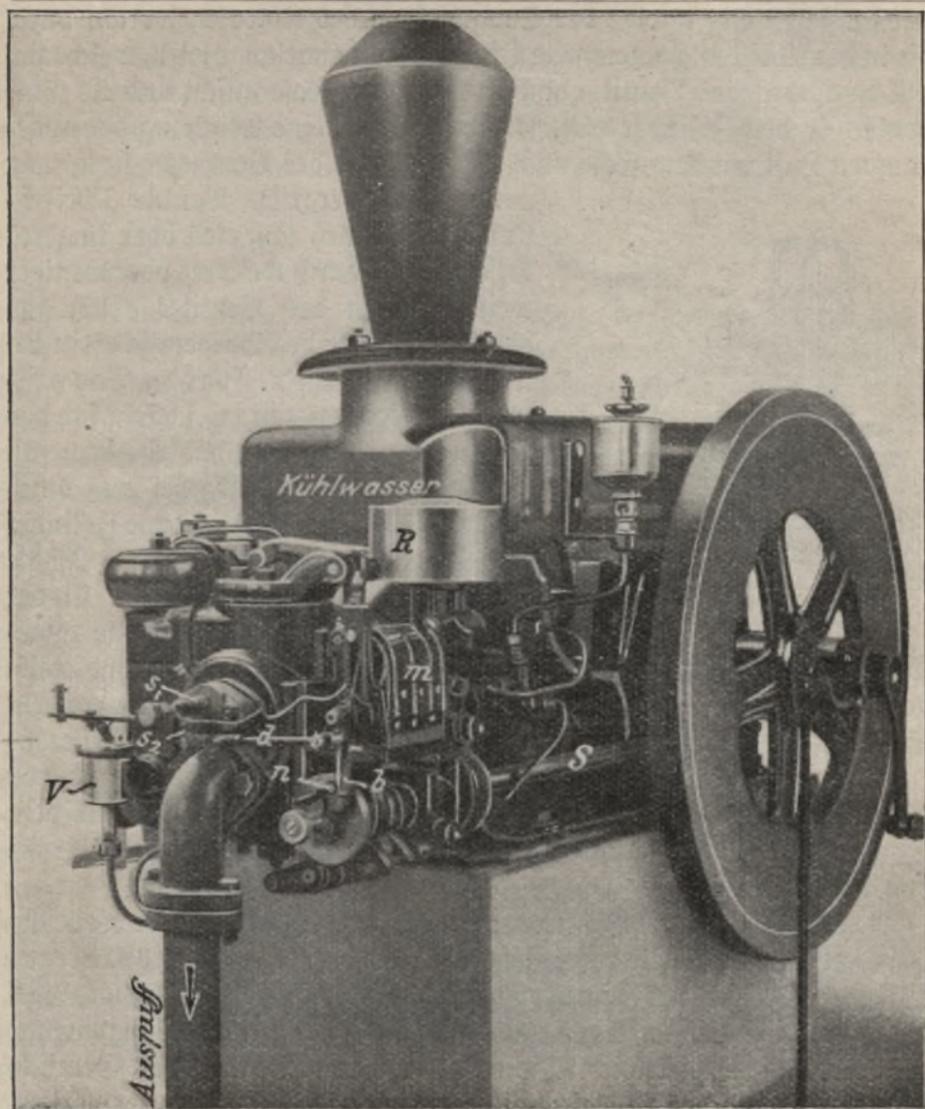
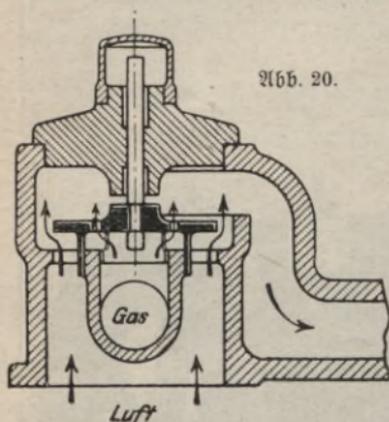


Abb. 13.

Bei der in der Abbildung gewählten Anordnung gestaltet sich nun das Spiel der Ventile folgendermaßen:

Bei Beginn des ersten Abschnittes, das heißt bei Beginn des Ansaugens, wird von der Maschine das Gasventil *a* geöffnet, indem ein Hebel in der später noch genauer zu besprechenden Weise auf die Führungsstange des Ventiles drückt. Gleichzeitig wird auch das Ventil *b* geöffnet, oder es öff-

net sich selbsttätig infolge der Saugwirkung des Kolbens, worauf durch die in der Abbildung gezeichnete Öffnung Luft angesaugt wird, welche sich mit dem durch das Ventil *a* hindurchtretenden Gase mischt und als Gasgemisch in den Zylinder tritt. Mitunter findet eine Mischung der angesaugten Luft mit dem Gase auch erst innerhalb des Ventiles *b* statt, man



nennt dann derartige Ventile „Mischventile“. Durch längeres oder kürzeres Offenhalten, durch weiteres oder weniger weites Öffnen des Ventiles *a* läßt sich dabei die Stärke des Gasgemisches in beliebiger Weise regeln. Hört die Saugwirkung des Kolbens auf, so schließt sich das Ventil *b*, und da auch das Auslaßventil geschlossen bleibt, so wird bei dem Rückgange des Kolbens das in dem Zylinder enthaltene Gasgemisch verdichtet. Ist die Verdichtung beendet, das heißt: ist der Kolben in seiner inneren Totlage ange-

kommen, so findet die Zündung statt, das Gemisch verpufft und treibt den Kolben vorwärts, während alle Ventile geschlossen sind. Kurz vor dem Ende des Arbeitshubes wird durch einen Hebel in geeigneter Weise das Auslaßventil gehoben und so lange offen gehalten, bis der Kolben wiederum in seiner inneren Totlage angelangt ist, worauf mit dem Schlusse des Ventiles *c* und der Öffnung der Ventile *a* und *b* das Spiel von neuem beginnt.

Die eben besprochene Ventilanordnung wird bisweilen in der Weise abgeändert, daß an Stelle des gesteuerten Gasventiles *a* ein selbsttätiges Mischventil tritt, das heißt ein Ventil, welches gleichzeitig Luft- und Gas-eintritt in die Maschine regelt und welches allein durch die Saugwirkung des Kolbens geöffnet wird. Die beiden anderen Ventile, das Gemisch-einlaßventil und das Auslaßventil, bleiben dagegen wie bei der vorigen Anordnung bestehen.

Ein solches Mischventil der eben besprochenen Art zeigt Abb. 20. Wie man sieht, besteht das Ventil aus einer Art Glocke (in der Abbildung schwarz gezeichnet) mit verschiedenen Löchern, durch welche bei gehobener Glocke (die Stellung, wie sie in der Abbildung gezeichnet ist) das Gas eintritt, während um den Rand der Glocke herum die von dem Kolben angesaugte Luft hereindringt. Das Verhältnis des angesaugten Gases zur angesaugten

Luftmenge, also das Mischungsverhältnis, bleibt hier stets dasselbe, mag sich die Ventilglocke mehr oder weniger heben, denn der Querschnitt der in dem Deckel der Glocke angebrachten Löcher und der ringförmige Querschnitt zwischen Glockenrand und Ventilgehäuse behalten unter allen Umständen dieselbe Größe.

### Fünftes Kapitel.

#### Die Gasmaschine im Betrieb.

**Die Zündung.** Da von der sicheren Wirkung der Zündvorrichtung vor allen Dingen ein gutes Arbeiten der Gasmaschine abhängt, soll auch die Zündvorrichtung mit möglichster Einfachheit große Betriebssicherheit verbinden, so daß ein Versagen nach Möglichkeit vermieden wird.

Heutzutage geschieht die Zündung in den Gasmaschinen, ebenso wie in den später zu besprechenden Petroleum-, Benzin- und Spiritusmaschinen (mit Ausnahme der Dieselmachine), fast ausschließlich durch einen elektrischen Funken, welcher in dem Augenblicke, wo er benötigt wird, von einer kleinen magnet-elektrischen Maschine erzeugt wird. Nur bei kleineren Maschinen, namentlich solchen von älterer Bauart, findet man wohl noch eine Zündung mit Hilfe eines sogenannten Glührohres, dessen Einrichtung und Wirksamkeit die folgende ist: An dem Hinterteile des Arbeitszylinders ist ein kleines, auf einer Seite geschlossenes Röhrchen befestigt (Abb. 16, S. 69 u. Abb. 14, S. 60), welches, in der Regel aus Porzellan bestehend, von außen durch eine Flamme erhitzt und in rotglühendem Zustande erhalten wird. Während des Verdichtungsabschnittes werden die von dem vorhergehenden Viertakte in dem Röhrchen noch befindlichen, nicht mehr brennbaren Gase ebenfalls verdichtet. Frisches Gasgemisch dringt in das Röhrchen ein und entzündet sich an dessen glühenden Wandungen. Natürlich müssen die Abmessungen des Röhrchens so gewählt werden, daß erst in dem Augenblicke, in welchem die Verdichtung ihren höchsten Grad erreicht hat, das heißt im inneren Totpunkte der Maschine, die in das Röhrchen eingedrungene frische Ladung den heißesten Teil des Röhrchens erreicht hat, und somit in diesem Augenblicke erst die Zündung erfolgt.

Abb. 21 a. f. S. zeigt das Glührohr der in Abb. 18, S. 71 dargestellten Maschine. Die Lampe zum Erhitzen des Glührohres ist in Abb. 21 abgenommen.

Da die Verwendung einer offen brennenden Flamme zum Erhitzen des Glührohres mancherlei Unzuträglichkeiten bietet, geschieht die Zündung in neuerer Zeit fast ausschließlich auf elektrischem Wege.

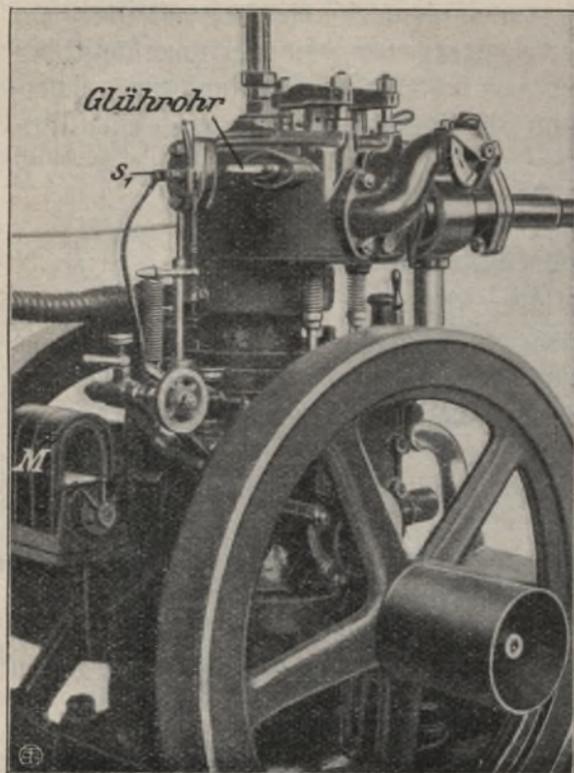


Abb. 21.

$f_1$  auf dem Stabe  $s_1$  aufliegt. Die beiden Stäbe  $s_1$  und  $s_2$  stehen in leitender Verbindung mit den Drahtwicklungen des Ankers. Zu diesem Zwecke ist Stab  $s_1$  isoliert durch die Zylinderwandung hindurchgeführt und durch eine Leitung mit dem einen Pol der Drahtwicklungen des Ankers verbunden, während der andere Pol des Ankers durch die Maschinenwandungen mit dem Stabe  $s_2$  in leitender Verbindung steht. Wird nun zu derselben Zeit, wo durch kurzes, aber rasches Drehen des Ankers der elektrische Strom erzeugt wird, auch der Stab  $s_2$  so gedreht, daß sich seine Nase von dem Stifte  $s_1$  abhebt, dann springt offenbar in demselben Augenblicke im Innern der Maschine ein elektrischer Funke über, der das verdichtete Gasgemisch zur Entzündung bringt. Die erwähnte kurze, aber rasche Drehung des Ankers und das gleichzeitige „Abreißen“ der Nase von dem Stabe  $s_1$  wird nun auf folgende einfache Weise erzeugt. Eine auf der Steuerwelle der Maschine befestigte Scheibe besitzt einen Vorsprung  $n$ , der bei jeder Umdrehung der Steuerwelle einmal einen auf der Achse des Ankers sitzenden Arm  $b$  er-

Den Grundgedanken einer neuzeitlichen magnet-elektrischen Zündung zeigt Abb. 22. Eine Reihe von Stahlmagneten  $m$  umschließt einen sogenannten Anker, das heißt einen mit Drahtwicklungen versehenen Zylinder ( $a$ ), durch dessen kurze, aber rasche Drehung ein kräftiger elektrischer Strom erzeugt wird. Durch die Wand des Maschinenzylinders sind ferner zwei Stäbe  $s_1$  und  $s_2$  hindurchgeführt, von denen  $s_1$  unbeweglich ist, während  $s_2$  drehbar gelagert ist und an seinem in die Maschine hineinragenden Ende eine kleine Nase besitzt, die unter dem Einfluß einer Feder

faßt. In demselben Augenblicke aber, wo er den Arm wieder losläßt (die in der Skizze gezeichnete Stellung), schnappt der Arm unter dem Einflusse der Feder  $f_2$  rasch zurück: es entsteht der erwähnte elektrische Strom und gleichzeitig stößt, wie die Abbildung erkennen läßt, die an dem Arme des Ankers befestigte Stange  $d$  an den Hebelarm des Stabes  $s_2$  und bewirkt so, wie oben beschrieben, ein Abreißen der Nase von der Stange  $s_1$ , damit ein Überspringen des Funkens und eine Entzündung der Ladung.

Die Abb. 19, 29 u. 30 zeigen solche „Abreißzündungen“. Die dabei eingesetzten Buchstaben entsprechen denen der Abb. 22.

Über andere Arten elektrischer Zündung s. Blau, Das Automobil, M.u.G. Bd. 166.

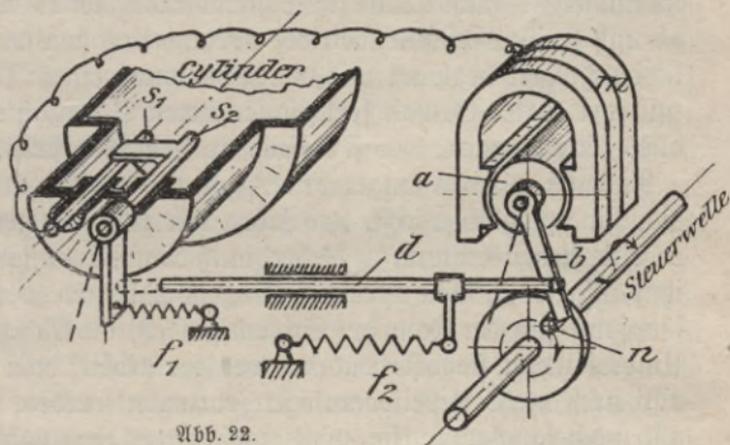


Abb. 22.

**Die Regulierung.** Nehmen wir an, wir hätten eine Gasmaschine vor uns, welche bei 200 Umdrehungen (das heißt also bei 100 Doppelhüben oder Arbeitshüben) in der Minute gerade eine Arbeit von 10 PS zu leisten imstande wäre. Blicke der von der Maschine zu überwindende Arbeitswiderstand fortwährend der gleiche, bleibt die Beschaffenheit des Gases und die Zusammensetzung des Gasgemisches fortdauernd dieselbe, so würde die Maschine vollständig gleichmäßig mit 200 Umdrehungen in der Minute arbeiten. Nehmen wir dagegen an, der Arbeitswiderstand würde durch irgendeinen Zufall plötzlich geringer und betrage eine kurze Zeit hindurch nur 9 PS. Was wäre die Folge? Da die Maschine nach wie vor eine Arbeitsleistung von 10 PS entwickelt, so wird die eine überschüssige PS dazu verwendet werden, das Schwungrad der Maschine und damit die ganze Maschine in schnellere Umdrehung zu versetzen. Arbeitsleistung ist aber, wie wir in der Einleitung (S. 5) gesehen hatten, ein Produkt aus Kraft  $\times$  Weg in der Zeiteinheit. Da nun bei erhöhter Umdrehungszahl der Kolben der Maschine schneller läuft, mit anderen Worten einen größeren Weg in der Zeiteinheit zurücklegt, so wird die Maschine auch mehr

Arbeit leisten als 10 PS. Diese Mehrleistung an Arbeit kann wiederum nur dazu verwendet werden, die Maschine in schnellere Umdrehung zu versetzen, wodurch dann wieder noch mehr Arbeit geleistet wird, und so weiter fort. Die Maschine würde immer schneller rasen, sie würde, wie man sagt, durchgehen und die Geschwindigkeitssteigerung würde so lange andauern, bis durch die immer stärker werdende Zentrifugalkraft das Schwungrad der Maschine in Stücke zerrissen würde. Derartige Zertrümmerungen — man nennt sie Schwungradexplosionen — kommen leider ab und zu im Maschinenbetriebe vor und sind stets von ähnlichen schrecklichen Folgen begleitet wie die Explosionen eines Dampfkessels, da die mit furchtbarer Gewalt fortgeschleuderten Schwungradteile geschosßartig alles zertrümmern, was sich ihnen in den Weg stellt.

Nehmen wir den umgekehrten Fall an, daß der Arbeitswiderstand der Maschine plötzlich wächst, und sehen wir zu, was dann eintritt. Um die erhöhte Arbeitsleistung zu decken, muß dem Schwungrade ein Teil des in ihm aufgespeicherten Arbeitsvermögens entzogen werden. Dadurch verlangsamt sich der Gang des Schwungrades, die Maschine macht weniger Umdrehungen, sie leistet dadurch weniger Arbeit; dem Schwungrade muß also noch mehr Arbeitsvermögen entzogen werden, die Maschine geht also noch langsamer, sie wird nach kurzer Zeit endlich stillstehen. Um beide Fälle, ein Durchgehen wie ein Stehenbleiben der Maschine, nach Möglichkeit zu verhindern, ist jede Kraftmaschine, welcher Art sie auch sein möge, gewöhnlich mit einer Vorrichtung versehen, welche die Kraft-erzeugung der Maschine in der Weise regelt, daß, falls der Arbeitswiderstand auf kurze Zeit wächst, die Leistung der Maschine erhöht wird, und umgekehrt bei abnehmendem Widerstande ihre Arbeitsleistung verringert wird. Beides natürlich nur in gewissen Grenzen.

Während bei der Dampfmaschine diese Regulierung bekanntlich meist dadurch geschieht, daß man je nach Bedarf mehr oder weniger Dampf in den Zylinder einströmen läßt, unterscheidet man bei Gasmaschinen drei Arten der Regulierung, deren jede ihre Vorteile und Nachteile hat. Diese drei Regulierungsarten sind: 1. Das Ausfallenlassen von Ladungen, 2. Verdünnung des Gasgemisches, 3. Verringerung der angesaugten Menge von Ladungsgemisch.

**Regulierung durch Aussezer.** Das Ausfallenlassen von Ladungen ist die einfachste und sparsamste Art der Regulierung, sie wurde schon von Otto bei seiner ersten Gasmaschine verwendet. Geht die Maschine zu

schnell, so braucht man ja nur während eines oder mehrerer aufeinander folgender Arbeitsabschnitte das Gasventil *a* (Abb. 16, S. 69) geschlossen zu halten. Die Maschine saugt dann nur reine Luft an, Zündung und Verpuffung bleiben aus, und die Maschine verzehrt einen Teil des in dem Schwungrade aufgespeicherten Arbeitsvermögens, bis dann nach einigen Umdrehungen der gewöhnliche Arbeitszustand wieder eintritt. Um nun die Maschine gelegentlich auch eine größere Arbeit leisten zu lassen, ist die Einrichtung so getroffen, daß schon während des gewöhnlichen Arbeitswiderstandes etwa nach jedem 8. oder 9. Doppelhube ein solches Ausfallen einer Ladung eintritt. Steigt dann der Arbeitsbedarf, so wird auch bei diesem 8. oder 9. Doppelhube Gasgemisch angesaugt, wodurch sich natürlich die Gesamtleistung der Maschine erhöht. Diese Art der Regulierung läßt sich nun z. B. durch folgende Vorrichtung erreichen, welche durch die beiden Abb. 23 und 24 a. f. S. veranschaulicht wird. Durch die Steuerwelle *s* wird vermittels kegelförmiger Zahnräder eine kleine Welle in rasche Umdrehung versetzt, an deren Ende ein paar Kugeln beweglich angehängt sind. Auf der eben genannten kleinen Welle ist verschiebbar eine Art Deckel *d* angeordnet, der gehoben wird, wenn die Kugeln infolge zu rascher Umdrehung der kleinen Welle auseinanderfliegen. Aus der Abbildung ist dann ohne weiteres ersichtlich, daß beim Heben dieses Deckels infolge der Einwirkung des unteren Winkelhebels eine Verschiebung der Hülse *H* nach links eintritt, während bei zu langsamem Gange die Kugeln und damit der Deckel wieder heruntersinken und dadurch die Hülse auf der Steuerwelle mehr nach rechts verschoben wird.

Diese eben besprochene Hülse hat nun an einer Stelle eine Erhöhung oder, wie man sagt, einen Nocken *n*, dessen Wirkung ebenfalls aus der Abbildung ersichtlich ist. Kommt nämlich dieser Nocken durch die Umdrehung der Steuerwelle nach oben, so wird dadurch der obere Winkelhebel (Abb. 24) ein klein wenig gedreht und öffnet auf diese Weise das Gasventil *a*, dessen Zweck bei dem Bau der Maschine S. 73 eingehend besprochen wurde. Man sieht sofort, daß eine Öffnung des Gasventils unterbleibt, wenn die Hülse auf der Steuerwelle so weit verschoben wird, daß der Nocken seitlich an dem oberen Winkelhebel vorbeigeht. Ebenso ist leicht zu ersehen, daß das Gasventil um so weiter geöffnet werden wird, je höher der Nocken ist, und umgekehrt; man kann also durch beliebige Gestaltung des Nockens jede gewünschte Öffnung des Gasventils erreichen.

Ganz ähnlich ist, wie hier bemerkt werden möge, die Steuerung des Auslaßventils (Abb. 25, S. 81), nur daß hier die Bewegung der Hülse nicht

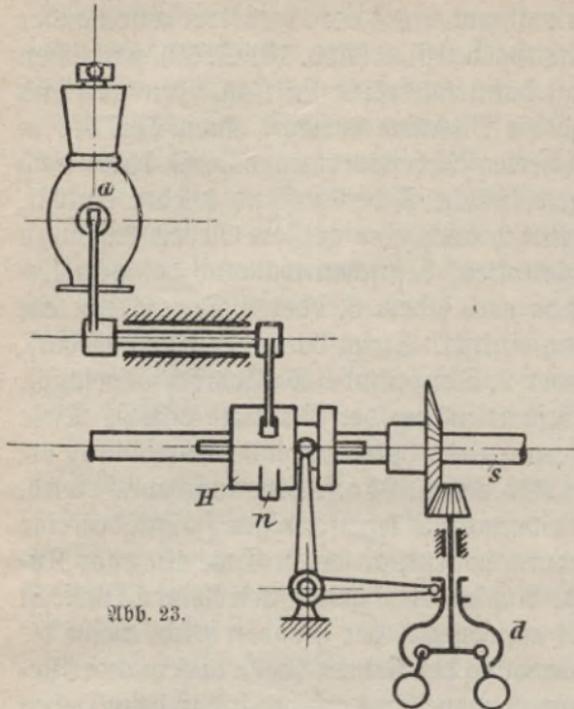


Abb. 23.

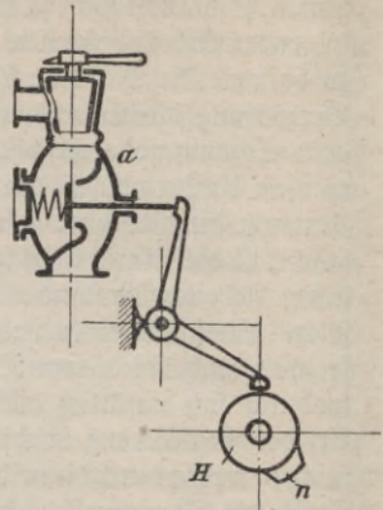


Abb. 21.

vom Regulator beeinflusst wird. Die Wirkung der Steuerung ist nach dem Vorhergehenden ohne weiteres aus der Abbildung verständlich.

Die eben besprochene Regulierung vermittels „Ausseher“ hat den Nachteil, daß sie einen der Viertaktwirkung an sich schon anhaftenden Uebelstand noch bedeutend vergrößert, die Unregelmäßigkeit des Ganges. Hier gilt also in noch viel höherem Maße alles das, was früher bei der Besprechung des Viertaktes überhaupt gesagt wurde, das heißt derartige Maschinen werden für alle diejenigen Betriebe, bei denen ein hoher Grad von Gleichförmigkeit verlangt wird (Spinnereimaschinen, Maschinen zur Erzeugung elektrischen Lichtes usw.), so gut wie nicht verwendbar sein.

Dem Bestreben, diesem Uebelstande abzuhelpfen und eine größere Gleichförmigkeit des Ganges zu erreichen, sind nun die beiden anderen Arten der Regulierung entsprungen: zu- oder abnehmende Verdünnung des Gasgemisches (Qualitätsregulierung), und zu- oder abnehmende Menge des angesaugten Ladungsgemisches (Quantitätsregulierung).

**Regulierung durch Gemischänderung.** Durch eine Regulierung vermittels zunehmender oder abnehmender Verdünnung des

Gasgemisches wird zwar der Übelstand eines ungleichmäßigen Ganges wesentlich gemildert, dafür tritt aber ein anderer Übelstand um so schärfer hervor, nämlich der, daß eine solche Regulierung den Gasverbrauch für eine Nutzpferdestärke recht ungünstig beeinflusst. Wir hatten allerdings früher gesehen, daß eine Verwendung stark verdünnter Gasgemische vorteilhaft ist, jedoch nur dann, wenn die Verdichtung vor der Entzündung gesteigert wird. Geschieht das nicht, so tritt, namentlich bei starker Verdünnung, eine langsamere Verpuffung und damit zusammenhängend eine weniger gute Aus-

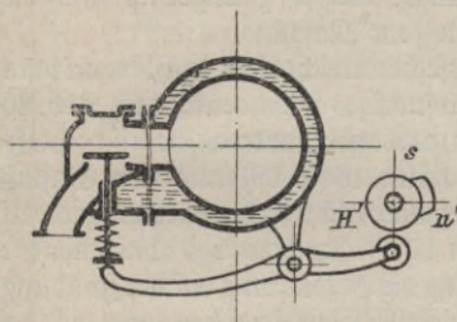


Abb. 25.

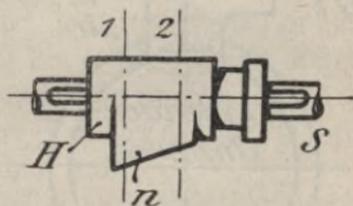


Abb. 26.

nutzung der sich ausdehnenden Gase ein, was wiederum ein Sinken des Wirkungsgrades, das heißt eine Erhöhung des Gasverbrauches für eine Std-PS zur Folge hat.

Die Ausführung einer solchen Gemischänderung kann z. B. in der Weise geschehen, daß man die Hülse *H* in Abb. 23 etwa so gestaltet, wie es Abb. 26 angibt. Bei erhöhtem Leistungsbedarfe würde der Regulator die Hülse so weit verschieben, daß der obere Winkelhebel der Abb. 23 etwa an der Stelle 1, Abb. 26 über die Hülse hinweggleitet, das Gasventil also lange und weit öffnet. Geht dagegen die Maschine zu schnell, soll also die Leistung geringer werden, so würden die Regulatorkugeln auseinanderfliegen und die Hülse so weit verschieben, daß der Winkelhebel etwa an der Stelle 2 über die Hülse hinweggleitet, das Gasventil also nur für kurze Zeit und nur in geringem Maße offen hält.

**Regulierung durch Änderung der Gemischmenge.** Die dritte Art der Regulierung, welche weder durch Ausfallenlassen von Ladungen die Gleichförmigkeit des Ganges beeinträchtigen, noch auch eine wesentliche Verschlechterung des Wirkungsgrades herbeiführen soll, ist die Regulierung durch Veränderung der Menge des angesaugten Ladungsgemisches. Ein Ausführungsbeispiel dieser in neuerer Zeit viel

angewendeten Regulierungsart zeigt die Gerippfskizze Abb. 27. Gasventil *a* und Gemischeinlaßventil *b* sitzen hier fest auf einer gemeinsamen Spindel und schließen die Kanäle für Gas und Luft ab. Je weniger tief die Ventilspindel nach unten gedrückt wird, was von dem Regulator der Maschine in einfacher Weise geregelt werden kann, um so mehr werden Gas

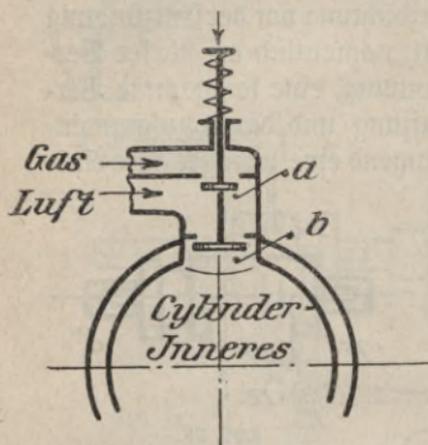


Abb. 27.

und Luft „gedrosselt“, um so weniger Gemisch wird also vom Kolben der Maschine angefangt, um so geringer ist also die Leistung der Maschine.

Daselbe erreicht man auch, wenn man ein selbsttätiges Mischventil nach Abb. 20 (S. 74) anwendet, und das Gemischeinlaßventil *b* Abb. 16 (S. 69) unter dem Einfluß des Regulators sich mehr oder weniger weit öffnen läßt. Da hier bei abnehmender Leistung die Verdichtung vor der Zündung nicht dieselbe Höhe erreichen kann wie bei regelrechtem Gange, weil eben weniger Gasgemisch angefangt wurde, so tritt auch

hier eine Erhöhung des Gasverbrauches für 1 Std-PS ein, mithin eine Verschlechterung des Wirkungsgrades.

**Die Verschlechterung des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung** ist überhaupt ein wohl zu beachtender Punkt bei der Gasmaschine, und alle die früher genannten Zahlen des Gasverbrauches für 1 Std-PS beziehen sich stets auf diejenige Leistung, für welche die Maschine eigentlich gebaut ist, die sogenannte Normalleistung oder Kennleistung. Sinkt die Maschinenleistung unter diesen Wert, so steigt der Gasverbrauch für 1 Std-PS, und zwar in um so stärkerem Maße, je weiter die Leistung sinkt. Der Grund hierfür liegt darin, daß bei abnehmender Leistung sich der Zylinder stärker abkühlt, und zwar bei der erstgenannten Regulierungsart infolge des Fortfallens einzelner Verpuffungen, bei der zweiten und dritten Art durch die geringere Wärmeentwicklung der einzelnen Verpuffungen. Durch eine solche Abkühlung des Zylinders wird die Ladung vor der Entzündung weniger gut vorgewärmt, es tritt hierdurch eine weniger gute Mischung (Diffusion) ein, und die Folge davon ist eine schlechte, unvollständige Verbrennung und damit zusammenhängend eine Erhöhung des Gasverbrauches. Ferner darf nicht außer acht gelassen werden, daß in jeder Gas-

maschine eine bestimmte, stets ungefähr gleich bleibende Gasmenge für diejenige Arbeit gebraucht wird, die aufgewendet werden muß, um Reibungs- und andere Widerstände in der Maschine selbst zu überwinden. Dabei wollen wir uns erinnern, daß ja bei der Viertaktmaschine während dreier Kolbenhübe überhaupt keine Arbeit geleistet wird, und daß die für die Verdichtung des Gasgemisches notwendige Arbeit gar keinen unbeträchtlichen Teil der von der Maschine überhaupt geleisteten Arbeit ausmacht. Dieser sogenannte Leergangsverbrauch beträgt etwa den vierten oder fünften Teil des von der Maschine bei ihrer Nennleistung verbrauchten Gases, und da diese Gasmenge selbst dieselbe Größe behält, ganz gleichgültig, ob die Maschine mit ganzer oder halber Leistung arbeitet, so verteilt sie sich zu um so größeren Teilen auf jede einzelne PS, je geringer die Arbeitsleistung der Maschine wird; es wird also infolge hiervon der Gasverbrauch für 1 Std-PS um so größer werden, je weiter die Arbeitsleistung der Maschine sinkt.

Sehr anschaulich wird diese Verschlechterung des Wirkungsgrades, das heißt die Zunahme des Gasverbrauches für 1 Std-PS bei der Betrachtung des Schaubildes Abb. 28, welches Durchschnittswerte von Messungen ergibt, die an verschiedenen Maschinen vorgenommen wurden.<sup>1)</sup> Die auf der wagerechten Linie aufgetragenen Strecken bezeichnen den Prozentsatz

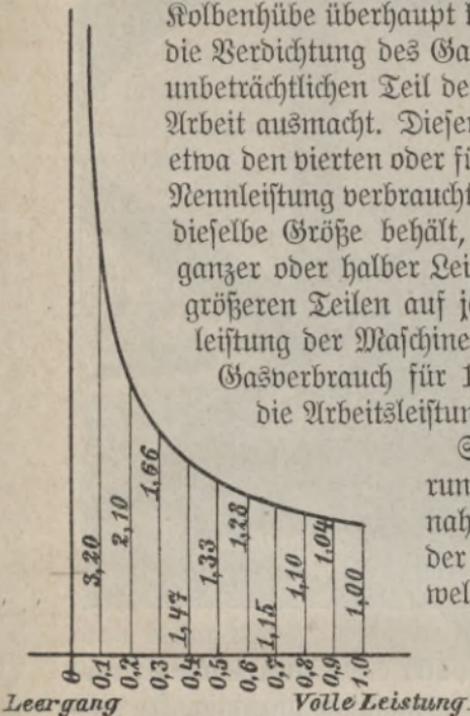


Abb. 28.

der mit 1 bezeichneten Leistung, für welche die Maschine gebaut wurde (den betreffenden Teil ihrer Nennleistung), während die senkrechten Strecken die Menge des für 1 Std-PS verbrauchten Brennstoffes (Gas, Petroleum, Benzin) darstellen, bezogen auf den Brennstoffbedarf bei der Leistung 1 (bei der Nennleistung). Beträgt z. B. die Leistung der Maschine nur 0,7 ihrer Nennleistung, so ist der Brennstoffbedarf für 1 Std-PS 1,15 mal so groß wie bei der Nennleistung; beträgt die Leistung nur 0,3 der Nennleistung, so ist der Brennstoffbedarf für 1 Std-PS 1,66 mal so groß als bei der Nennleistung usw.

Dies Ergebnis ist für jeden, der sich eine Gasmaschine anschaffen will, von hoher Wichtigkeit. Während man nämlich bei der Anschaffung einer Dampfmaschine von vornherein eine bedeutend größere Leistung in Be-

1) Aus Mujil, Wärmemotoren. Braunschweig 1899.

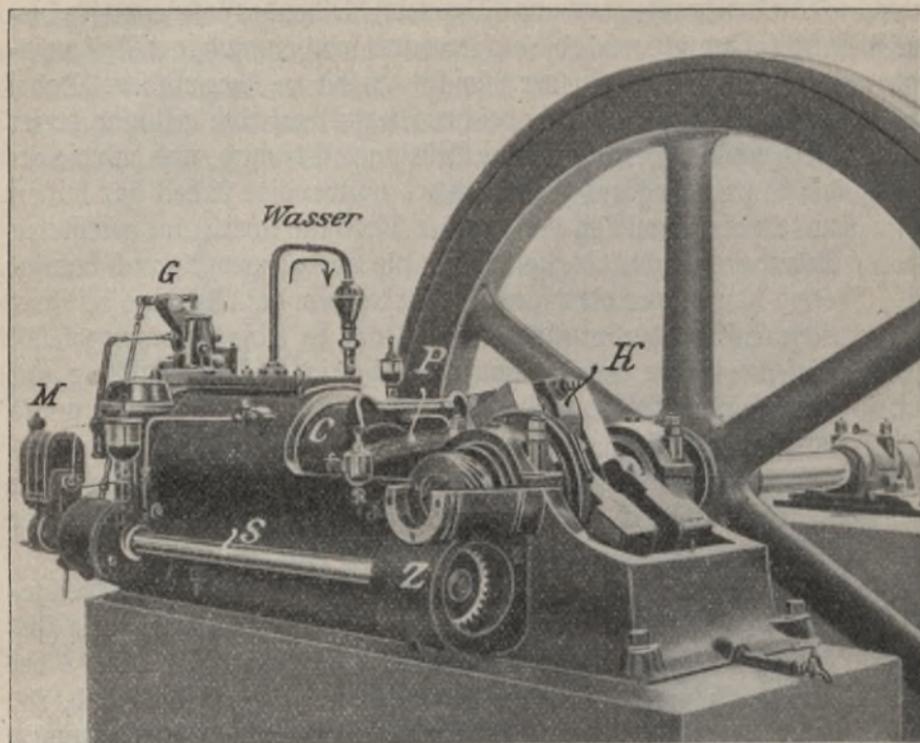


Abb. 29.

tracht ziehen wird mit Rücksicht auf eine später etwa eintretende Erweiterung des Betriebes, wäre das bei einer Gasmaschine unrichtig. In diesem Falle ist es zweckmäßiger, die Maschine so groß zu wählen, daß sie eben für den Betrieb ausreicht oder wenigstens doch nur unwesentlich größer ist; denn wollte man z. B. eine Gasmaschine, welche für eine Arbeitsleistung von 30 PS berechnet ist, und für welche der Verfertiger einen Gasverbrauch von 0,5 cbm für 1 Std-PS gewährleistet, für einen Betrieb verwenden, welcher nur 15 PS verlangt, so würde eben, wie sich aus unserer Schaulinie ergibt, der Gasverbrauch nicht 0,5 cbm, sondern ungefähr  $1,33 \times 0,5 = 0,665$  cbm für 1 Std-PS betragen. Die Maschine würde also unwirtschaftlich arbeiten und eine etwaige Ersparnis in den Anschaffungskosten würde durch einen solchen unwirtschaftlichen, teureren Betrieb schon in verhältnismäßig kurzer Zeit wieder verloren gehen.

**Ausführungsbeispiel.** Die Abb. 29 und 30 zeigen eine von der Deutzer Gasmotorenfabrik für das Maschinenlaboratorium der Berliner Berg-

akademie gelieferten Leuchtgasmaschine. C ist der Zylinder, in welchem sich in der früher besprochenen Weise ein langer Kolben ohne besondere Gradführung bewegt. Die Bewegung der Schwungradwelle wird durch ein Paar sogenannter Schraubenräder bei Z auf die Steuerwelle übertragen, und zwar ist aus den bekannten Gründen zur Erzielung des Viertaktes die Ausführung dieser Räder eine derartige, daß die Steuerwelle

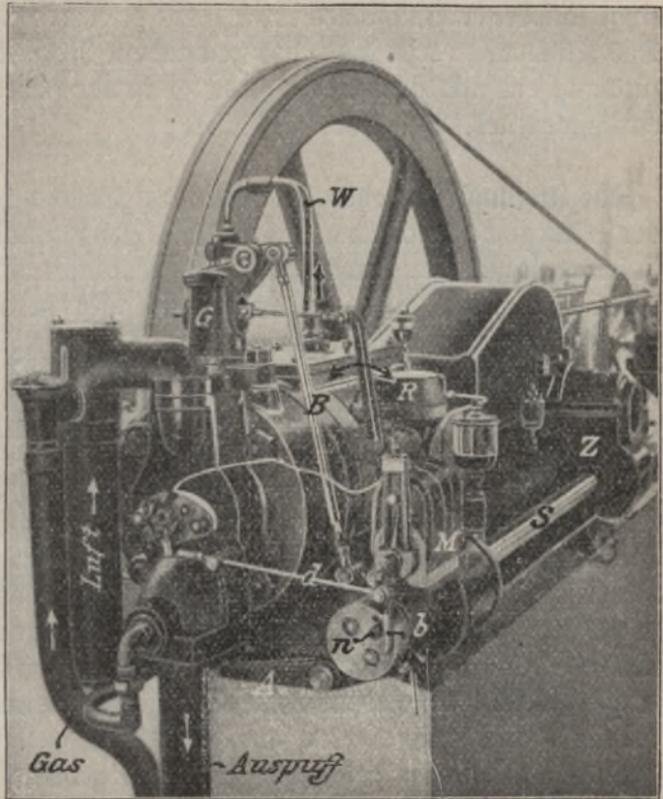


Abb. 30.

eine Umdrehung macht, wenn die Schwungradwelle sich zweimal herumdreht. Um die Zahnräder Z, die Kurbel K und die Schubstange P zeigen zu können, sind in Abb. 29 verschiedene Verkleidungsteile abgenommen. An der Stelle, wo das Gaszuführungsrohr in das Luftsaugerrohr einmündet (Abb. 30), befindet sich ein Mischventil nach Art des in Abb. 20 (S. 74) dargestellten. Das Öffnen (Herabdücken) des Gemischeinlaßventiles bei G geschieht dadurch, daß ein auf der Steuerwelle angebrachter Vorsprung (Nocken) zu gegebener Zeit die Stange B anhebt. Der Regulator R dreht den in Abb. 30 mit einem gebogenen Doppelpfeil (zwischen den Buchstaben B und R) bezeichneten Hebel und schiebt dadurch eine Art Keil unter die Stange, welche innerhalb des Gehäuses bei G das Gemischeinlaßventil herunterdrückt. Je weiter der Keil vom Regulator hineingeschoben wird, um so tiefer wird das Ventil untergedrückt, um so größer ist die Leistung der Maschine. Die Zündung ist eine Magnetabreißzündung. Die in Abb. 30

eingeschriebenen Buchstaben *M*, *b*, *d* entsprechen denen der Abb. 22 S. 77. Das Kühlwasser tritt durch das gewundene Rohr unterhalb der Abreißzündung ein und oben bei *W* aus. *A* ist der Hebel zur Steuerung des Auslaßventiles. Vgl. Abb. 25, S. 81.

**Das Ingangsetzen** oder „Anlassen“ der Gasmaschinen, ebenso wie das der später zu besprechenden Petroleum-, Benzin- und Spiritusmaschinen, ist stets mit gewissen Umständenlichkeiten verknüpft und nicht so einfach wie das Ingangsetzen einer Dampfmaschine. Ist in dem Dampfkessel die nötige Spannung vorhanden, so bedarf es, wenigstens bei kleinen Maschinen, meist nur der Öffnung eines einzigen Ventiles, um die Dampfmaschine in Gang zu bringen, wobei es gleichgültig ist, ob die Maschine leer läuft oder ob sie belastet ist. Bei der Gasmaschine dagegen liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Hier fehlt der Kraftsammler, der bei der Dampfmaschine durch den Dampfkessel dargestellt wird. Die Gasmaschine bereitet sich ja, wie wir wissen, das zu jedem Arbeitshube erforderliche Gasluftgemisch selber, und da ein solches Gemisch vor dem Anlassen nicht vorhanden ist, so muß es für die ersten Hübe auf besondere Weise hergestellt werden. Das geschieht nun bei allen kleineren Gasmaschinen einfach in der Weise, daß die Maschine mit der Hand entweder am Schwungrad oder mit Hilfe einer besonderen Kurbel so lange gedreht wird, bis das erste zündfähige Ladungsgemisch sich gebildet und entzündet hat, worauf die Maschine ihren regelmäßigen Gang beginnt. Aber selbst bei kleinen Maschinen wäre ein solches Andrehen mit der Hand nicht ohne weiteres angängig, und zwar deshalb, weil die vor der Zündung stattfindende Verdichtung zu viel Kraft zum Herumdrehen der Maschine erfordern würde. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als für die Dauer des Andrehens die Verdichtungsspannung erheblich zu verringern, was einfach in der Weise geschieht, daß das Auslaßventil auch während des Verdichtungsabschnittes ein klein wenig geöffnet wird. Zu diesem Zwecke besitzt diejenige Scheibe auf der Steuerwelle, durch welche die Öffnung des Auslaßventiles betätigt wird, eine zweite, in Abb. 25 nicht gezeichnete kleinere Erhöhung, welche so gestellt ist, daß auch während des Verdichtungsabschnittes der Hebel für das Auslaßventil ein klein wenig bewegt und damit das Auslaßventil etwas geöffnet wird. Ist dann die Maschine in Gang gesetzt, so wird die Scheibe von dem Maschinenwärter auf der Steuerwelle so weit verschoben, daß diese zweite, kleinere Erhöhung an dem Hebel des Auslaßventiles seitwärts vorbeigeht, worauf dann der regelmäßige Gang der Maschine eintritt.

Man erkennt aber leicht, daß es selbst bei kleineren Maschinen unmöglich sein wird, die Maschine bei voller Belastung anzudrehen. Es wird daher bei Gasmaschinen stets erforderlich sein, die Maschine für sich allein in Gang zu setzen und dann erst vermittels geeigneter Vorrichtungen die von der Gasmaschine zu betreibenden Maschinen und dergleichen einzurücken.

**Anlaßvorrichtungen.** Für größere Gasmaschinen ist ein solches Andrehen mit der Hand überhaupt nicht mehr ausführbar, so daß für diesen Fall besondere Anlaßvorrichtungen vorhanden sein müssen. Die üblichste, neuerdings wohl bei allen größeren Gasmaschinen angewendete Art des Anlassens ist die, daß man die Maschine zunächst vermittels verdichteter Luft in rasche Umdrehung versetzt, wobei die dazu nötige Luftmenge meist durch eine besondere Luftverdichtungsanlage im Vorrat hergestellt wird.

## Sechstes Kapitel.

### Zubehöerteile zur Gasmaschine.

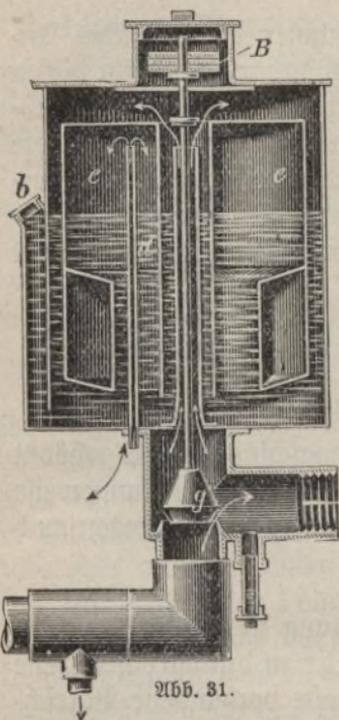
Zu einer mit Leuchtgas betriebenen Gasmaschinenanlage gehören noch eine Anzahl von Vorrichtungen, deren Zweck und Wirkungsweise hier kurz erörtert werden mögen, zumal einige dieser Vorrichtungen auch bei anderen Gasmaschinen vorkommen.

**Gasuhr.** Ehe das Gas aus der Straßenleitung in die Gasmaschine gelangt, hat es zunächst die sogenannte Gasuhr zu durchströmen, jene wohl allgemein bekannte und in jedem Haushalte vorhandene Vorrichtung, welche dazu dient, den Verbrauch an Gas in cbm festzustellen.

**Druckregler.** Wollte man das Gas von hier aus unmittelbar in die Maschine eintreten lassen, so gäbe das zu mancherlei Übelständen Anlaß. Zunächst ist zu bedenken, daß der Druck, unter welchem das Gas in der Leitung steht, durchaus kein gleichbleibender, sondern ein fortwährend wechselnder ist, da er z. B. dann immer abnehmen wird, wenn in den umliegenden Straßenteilen viel Gas verbraucht wird. Jeder Wechsel des Gasdruckes wird aber auf die Zusammensetzung des Ladungsgemisches einen Einfluß ausüben, in der Weise, daß bei abnehmendem Gasdrucke die Verdünnung des Gasgemisches zunimmt und umgekehrt.

Da eine solche Ungleichmäßigkeit des Gasgemisches, wie wir gesehen hatten, auf den Wirkungsgrad der Maschine ungünstig einwirkt, so läßt

man das Gas, bevor es in die Maschine gelangt, eine Vorrichtung durchströmen, den sogenannten Gasdruckregler, welcher dazu dient, den Gasdruck immer auf derselben Höhe zu erhalten. Die Wirkungsweise eines solchen Reglers besteht darin, daß das Gas bei zunehmendem Drucke ein Ventil selbsttätig um so mehr schließt, je höher der Druck steigt, während sich bei abnehmendem Drucke das Ventil wieder mehr öffnet. Einen häufig verwendeten Gasdruckregler zeigt Abb. 31.



Das Ventil *g* ist an einer Spindel befestigt, welche mit einem Schwimmer *e* in fester Verbindung steht (die Verbindung ist in der Abbildung schlecht zu erkennen) und an ihrem oberen Ende mit verschiedenen Scheiben *B* aus Blei oder Gußeisen beschwert ist. Wird der Druck in der Leitung zu stark, so drückt das Gas oben auf den Schwimmer, der Schwimmer taucht tiefer in die Flüssigkeit ein und nähert dadurch das Ventil *g* seinem Sitze. Hierdurch verringert sich aber der Durchtrittsquerschnitt und die Folge davon ist, daß auf der Seite, auf welcher der austretende Pfeil (rechts) gezeichnet ist, der Gasdruck sinkt. Im umgekehrten Falle, das heißt wenn der Druck des Gases niedriger ist als gewöhnlich, hebt der Schwimmer das Ventil, was eine Vergrößerung des Durch-

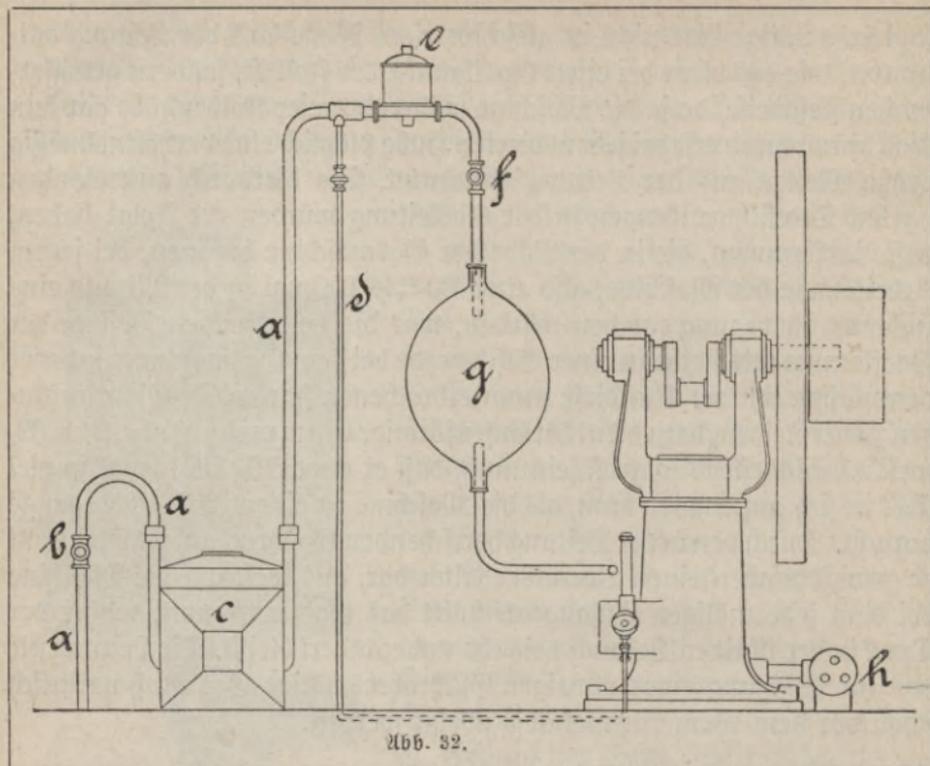
trittsquerschnittes und dadurch eine kleine Erhöhung des Druckes auf der Austrittsseite zur Folge hat. Man erkennt unmittelbar aus der Betrachtung der Abbildung, daß sich der Gasdruck hinter dem Regler durch eine solche Vorrichtung sehr wohl beliebig verkleinern läßt, einfach dadurch, daß man die Zahl der Belastungsgewichte *B* vermehrt, daß aber anderseits der Druck auf der Austrittsseite niemals höher werden kann, als der Druck des eintretenden Gases ist.

**Gummibeutel.** Eine weitere Vorrichtung, die bei keiner Leuchtgasmaschine fehlen darf, ist der Gummibeutel, dessen Wirkung und Notwendigkeit eine einfache Betrachtung erkennen läßt. Zu diesem Zwecke müssen wir uns vergegenwärtigen, daß die Gasmaschine das zu ihrem

Betriebe nötige Gas nicht in gleichförmiger Weise aus der Leitung entnimmt, wie das etwa bei einer Gasflamme der Fall ist, sondern gewissermaßen stoßweise, da ja die Maschine während dreier Kolbenhübe gar kein Gas braucht und erst bei jedem vierten Hube plötzlich eine verhältnismäßig große Menge aus der Leitung entnimmt. Die hierdurch auftretenden starken Druckschwankungen in der Gasleitung würden zur Folge haben, daß Gasflammen, die in der Nähe der Gasmaschine brennen, bei jedem Arbeitshube der Maschine, also etwa 80- bis 100mal in der Minute eine zuckende Bewegung machen würden, was die betreffenden Besitzer der Gasflamme mit Recht zu einer Beschwerde bei dem Gasmaschineninhaber veranlassen würde. Um diese ununterbrochenen starken Druckschwankungen zu vermeiden, dazu dient der linsenförmige Gummibeutel *g*, Abb. 32, welcher mindestens so groß sein muß, daß er etwa 10- bis 14mal so viel Gas in sich aufnehmen kann, als die Maschine zu einem Arbeitsvorgange braucht. Durch den in der Leitung herrschenden Gasdruck aufgebläht, stellt er gewissermaßen einen Vorratsbehälter dar, aus welchem die Maschine bei dem jedesmaligen Ansaugabschnitt das Gas entnimmt, wobei der Druck in der übrigen Leitung beinahe unverändert bleibt. Die Leitung für das zur Erhitzung eines etwaigen Glührohres nötige Gas muß natürlich schon vor dem Gummibeutel abgezweigt werden.

Die **allgemeine Anordnung** der eben besprochenen Vorrichtungen in Verbindung mit einer kleinen stehenden Leuchtgasmaschine zeigt die Skizze Abb. 32 a. f. S.; hierin bedeutet *a* die Gaszuleitung, welche durch einen Hahn *b* abgesperrt werden kann; *c* stellt die Gasuhr dar, *e* den Gasdruckregler, vor welchem die Rohrleitung *d* für den Brenner zur Erhitzung des Glührohrchens abzweigt. Nachdem das Gas einen Absperrhahn *f* durchströmt hat, gelangt es in den Gummibeutel *g* und von hier aus in die Maschine. Der Absperrhahn *f* wird einige Augenblicke vor dem Stillsetzen der Gasmaschine geschlossen, damit der Gummibeutel nach dem Stillstande der Maschine kein Gas mehr enthält.

**Ansaugetopf.** Dem Rohre, durch welches die Luft angesaugt wird, gibt man häufig eine plötzliche Erweiterung in der Gestalt des sogenannten Ansaugetopfes. Durch diese plötzliche Querschnittsvergrößerung, die eine Verringerung der Luftgeschwindigkeit zur Folge hat, setzt sich der etwa mitgerissene Staub in dem Topfe ab, und es wird gleichzeitig dabei der Vorteil erreicht, daß das schlürfende Geräusch, welches beim Ansaugen



der immerhin bedeutenden Luftmenge durch das enge Rohr hindurch eintreten würde, fast vollständig vermieden wird. Nötig ist ein solcher Ansaugtopf nicht; vielfach wird er ersetzt durch ein Rohr, welches mit länglichen Schlitzen versehen ist, um das schlürfende Geräusch zu mildern.

**Auspufftopf.** Einem ähnlichen Zwecke dient der sogenannte Auspufftopf, eine topfartige Erweiterung des Auspuffrohres, in welchem sich das bei der Verbrennung des Gases bildende Wasser in Verbindung mit Schmierölteilchen usw. absetzen soll. Von diesem Topfe aus wird das Auspuffrohr (möglichst ohne scharfe Krümmungen) über Dach geführt, damit eine Belästigung der Nachbarschaft durch die unangenehm riechenden Auspuffgase nach Möglichkeit vermieden wird. Abb. 18 S. 71 zeigt einen solchen Auspufftopf.

## Vierter Abschnitt.

### Verpuffungsmaschinen für vergaste flüssige Brennstoffe.

#### Erstes Kapitel.

#### Allgemeines.

Die bisher besprochenen Gasmaschinen haben sämtlich den einen Übelstand gemeinsam, daß ihr Betrieb an das Vorhandensein einer Gasanstalt mit einem mehr oder weniger verzweigten Rohrnetz gebunden ist. Durch die Erfindung der Sauggasanlagen wurde es zwar ermöglicht, Gasmaschinen auch dort zu verwenden, wo eine städtische Gasanstalt nicht vorhanden ist, jedoch ist zu beachten, daß dadurch zum Teil wiederum der Vorteil der Einfachheit verloren geht, den namentlich die Leuchtgasmaschine gegenüber der Dampfmaschine besitzt. Man versuchte es daher, Maschinen herzustellen, welche sich das zu ihrem Betriebe notwendige Gas in einfachster Weise selbst zubereiteten, und wählte dabei zuerst als Betriebsmittel die Destillationserzeugnisse des sogenannten Rohpetroleums (Benzin, sowie gewöhnliches Lampenpetroleum), später auch den Spiritus, und in jüngster Zeit sind es namentlich die Destillationserzeugnisse der Steinkohle (Benzol und Teeröl), sowie die der Braunkohle (Paraffinöl, Solaröl), welche in großem Umfange zur Krafterzeugung verwendet werden. Die genannten Flüssigkeiten haben die Eigenschaft, daß ihre Dämpfe, mit Luft vermischt, unter Druckentwicklung verbrennen, in ganz derselben Weise, wie dies früher bei dem Gemisch von Leuchtgas und Luft besprochen wurde. Die verhältnismäßige Einfachheit, mit welcher sich unter Verwendung jener Betriebsmittel ein zur Krafterzeugung geeignetes Verpuffungsgemisch herstellen läßt, ermöglicht es nun, Gasmaschinen — sie führen in diesem Falle den besonderen Namen Benzin-, Petroleum-, Spiritusmaschinen usw. — an jedem beliebigen Orte aufzustellen und ihnen ganz neue Anwendungsgebiete zu verschaffen, wie z. B. im landwirtschaftlichen Betriebe.

Die flüssigen Brennstoffe haben vor den festen im allgemeinen den großen Vorzug voraus, daß sie sozusagen viel gehaltvoller sind als die festen Brennstoffe, da ihr Heizwert (mit Ausnahme des Spiritus) im Mittel etwa 10000 WE für das kg beträgt und somit die Rauminanspruchnahme für den gleichen Heizwert bei Steinkohle und Koks etwa 2—3mal,

für Braunkohle sogar 7—8mal so groß ist, ganz abgesehen davon, daß sich infolge der flüssigen Beschaffenheit die Aufbewahrung (ebenso, wie übrigens auch die Fortbewegung) in vielen Fällen wesentlich zweckmäßiger gestalten läßt als bei festen Brennstoffen.

Sieht man ab von der Erzeugung des Gasgemisches, so unterscheiden sich die heute üblichen Maschinen für flüssige Brennstoffe (mit Ausnahme der später eigens zu besprechenden Dieselmachine) fast gar nicht von einer gewöhnlichen Leuchtgas- oder Kraftgasmaschine. Bauart und Wirkungsweise sind in beiden Fällen dieselben. Fast alle die genannten Maschinen arbeiten im Viertakt, und es gelten hier dieselben Regeln und Erörterungen, welche früher bei der Besprechung der Gasmaschine in bezug auf Viertaktwirkung, Zündung und Regulierung angeführt wurden. Der wesentliche Unterschied zwischen den Gasmaschinen im engeren Sinne und den Maschinen für flüssige Brennstoffe liegt, wie gesagt, nur in der Herstellung des Ladungsgemisches. Bevor jedoch näher darauf eingegangen wird, mögen zunächst einige allgemeine Bemerkungen über die hauptsächlich zur Verwendung kommenden Betriebsmittel hier Platz finden.

## Zweites Kapitel.

### Die Betriebsmittel.

**Die Destillationserzeugnisse des Rohpetroleums.** Das Rohpetroleum (bisweilen auch Stein- oder Erdöl genannt), ist ein dickflüssiges Öl, welches namentlich in Amerika, in den Staaten Pennsylvania und Kanada, dann aber auch in Europa, hauptsächlich in der Umgegend der russischen Stadt Baku am Kaspischen Meere, gewonnen wird. Seiner Beschaffenheit nach ist es ein Gemisch aus verschiedenen festen, flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen und verdankt seine Entstehung im Innern der Erde nach Ansicht einiger Gelehrter einer Zersetzung tierischer Körper, namentlich von Meerestieren, welche sich durch das Zurücktreten der Meere in früheren Erdzeitaltern an gewissen Stellen in ungeheuren Mengen angehäuft hatten. Nach anderer Ansicht (Potonié) sind es Überreste tierischen sowohl wie pflanzlichen Lebens, Wassertieren und Sumpfpflanzen, die durch einen Fäulnisvorgang verwandelt wurden und noch werden.

Das aus Bohrlöchern durch Pumpen zutage geförderte Rohpetroleum wird als solches in der Technik wenig verwendet, dagegen haben die aus ihm gewonnenen Erzeugnisse, vor allen Dingen das allbekannte, gewöhnliche Lampenpetroleum, eine außerordentliche Bedeutung erlangt; man

denke nur an die gewaltige Umwälzung, welche um die Mitte des vorigen Jahrhunderts das Erscheinen der Petroleumlampe in der Beleuchtungstechnik der ganzen Welt hervorgerufen hat.

Erhitzt man das aus der Erde gewonnene Rohpetroleum in geschlossenen Behältern, so werden sich diejenigen Bestandteile, das heißt diejenigen Kohlenwasserstoffverbindungen zuerst in Dampfform verwandeln, deren Siedepunkt am niedrigsten liegt; je weiter die Erhitzung getrieben wird, um so schwerer flüchtige Bestandteile kommen zur Verdampfung. Läßt man nun die bei den verschiedenen Temperaturen sich bildenden Dämpfe aus jenem Verdampfungsgefäße, gewöhnlich Destillierblase genannt, in Röhren treten, welche von außen stark gekühlt werden, so werden sich die Dämpfe wieder zu Flüssigkeiten verdichten, die nun aber verschiedene Eigenschaften besitzen, je nach der Temperatur, unter welcher die Verdampfung stattgefunden hat oder, wie man sagt, je nach der Temperatur, bei welcher die Flüssigkeiten übergegangen (überdestilliert) sind.

Die durch eine solche Behandlung (Destillation) des Rohpetroleum's gewonnenen Erzeugnisse teilt man gewöhnlich in mehrere Gruppen ein und rechnet dabei zu der ersten Gruppe alle diejenigen Flüssigkeiten, welche bei Temperaturen bis zu  $150^{\circ}\text{C}$  übergehen. Als wichtigste Flüssigkeit kommt für den vorliegenden Fall nur das bei Temperaturen zwischen  $80$  und  $100^{\circ}$  übergehende Benzin in Betracht, jene bekannte Flüssigkeit, welche nicht nur zur Krasterzeugung, sondern auch im großen wie im kleinen zur Fleckenreinigung viel verwendet wird. Das Benzin hat ein spezifisches Gewicht von etwa  $0,7$  und darf nach einem Beschlusse des Bundesrates für Krasterzeugung zu gewerblichen Zwecken unter Kontrolle zollfrei in Deutschland eingeführt werden. Die der zweiten Gruppe zugeordneten, bei Temperaturen von  $150$  bis etwa  $300^{\circ}\text{C}$  übergehenden Stoffe werden nicht gesondert aufgefangen, sondern bilden in ihrer Gesamtheit das gewöhnliche Lampenpetroleum, im folgenden kurzweg mit Petroleum bezeichnet, dessen spezifisches Gewicht in den Grenzen zwischen  $0,8$  und  $0,825$  schwankt. Wird die Destillationstemperatur noch weiter gesteigert, so gehen die Stoffe der dritten Gruppe über, die gewöhnlich als Gasöle bezeichnet werden. Der Heizwert aller dieser bisher genannten Stoffe beträgt etwas über  $10000$  WE/kg. Die Flüchtigkeit der sich ergebenden Erzeugnisse nimmt bei noch höheren Destillationstemperaturen immer weiter ab; man erhält die zum Schmieren von Maschinen in ausgedehntester Weise verwendeten Mineralschmieröle, sowie schließlich das unter dem Namen Vaseline bekannte Erzeugnis von salbenartiger Beschaffenheit.

Schon aus der Art der Gewinnung ergibt sich, daß alle diese Stoffe stark voneinander abweichende Eigenschaften haben werden. Während z. B. das Benzin aus Teilen besteht, welche so flüchtig sind, daß sie schon bei Temperaturen von 80—100° in den dampfförmigen Zustand übergehen, enthält das Petroleum neben verhältnismäßig leichtflüchtigen gleichzeitig außerordentlich schwerflüchtige Bestandteile, bei denen es der Anwendung von Temperaturen bis zu 300° C bedarf, um sie in Dampfform überzuführen. Diese Verschiedenheiten der Eigenschaften werden auch eine verschiedene Art der Verwendung zur Krafterzeugung erforderlich machen, weshalb die Besprechung der einzelnen Maschinengattungen, soweit die Bildung des Ladungsgemisches in Frage kommt, gesondert erfolgen soll.

**Benzol.** Die in einem früheren Kapitel (S. 54) erwähnten Koksöfengase enthalten Kohlenwasserstoffverbindungen, die den in neuerer Zeit in großen Mengen erzeugten Gasen als Flüssigkeit entzogen werden und unter dem Namen Benzol in den Handel kommen. Das Benzol ist in seinen Eigenschaften dem Benzin sehr ähnlich, es ist nur etwas weniger flüchtig, sein Heizwert ist etwas geringer als der des Benzins, er beträgt etwa 9300 WE/kg. Der große Vorteil des Benzols gegenüber dem Benzin besteht darin, daß es nicht vom Auslande eingeführt zu werden braucht und, da die Kokszerzeugung für Hochofenzwecke von Jahr zu Jahr noch zunimmt, in solchen Mengen gewonnen wird, daß eine so große Preissteigerung, wie sie z. B. für Benzin in den letzten Jahren stattgefunden hat, bei Benzol kaum eintreten dürfte.

Durch Destillation bei verschiedenen Temperaturen lassen sich übrigens aus diesem Benzol, ähnlich wie bei dem Rohpetroleum, leichter und schwerer siedende Bestandteile abscheiden, und es ist ein auf diese Weise aus den schwerer siedenden Bestandteilen (bei Destillationstemperaturen von etwa 120—180°) hergestellter Brennstoff, das **Ergin**, welches in neuerer Zeit zu Kraftzwecken vielfach Verwendung findet. Ergin ist bei etwa gleichem Heizwerte weniger gefährlich als Benzol und Benzin, und es gelten für seine Lagerung nicht die strengen polizeilichen Vorschriften wie für Petroleum und Spiritus.

**Spiritus.** Der Spiritus, und zwar in der Form des gewöhnlichen denaturierten Brennspiritus, hat als Betriebsmittel für Gasmaschinen namentlich in landwirtschaftlichen Kreisen Beachtung gefunden; neben seinen sonstigen, für Krafterzeugungszwecke vorteilhaften Eigenschaften wohl

schon deshalb, weil er ja selbst ein Erzeugnis des landwirtschaftlichen Betriebes darstellt. Seiner Eigenschaft nach nimmt er etwa eine mittlere Stellung ein zwischen Benzin und Petroleum, da er einerseits nicht die hohe Entzündbarkeit und Feuergefährlichkeit des Benzins besitzt, andererseits aber, wie aus den späteren Betrachtungen hervorgehen wird, ein zur Kräftezeugung geeignetes Verpuffungsgemisch sich bei Spiritus leichter herstellen läßt als bei dem gewöhnlichen Lampenpetroleum. Sein Heizwert beträgt nur etwas über die Hälfte des Heizwertes von Benzin und Petroleum und kann bei 90 volumprozentigem Spiritus (spezifisches Gewicht etwa = 0,83) im Mittel zu 5500 WE/kg angenommen werden.

Viel verwendet wird neuerdings sogenannter Motorenspritus, eine Mischung von Brennspritus mit 20 % Benzol. Sein Heizwert ist etwas höher und beträgt etwa 6200 WE/kg.

**Schweröle.** Eine besondere Klasse von flüssigen Brennstoffen bilden diejenigen Öle, die man unter dem Namen Schweröle zusammenfassen kann. Man rechnet hierzu die durch Destillation der Braunkohle gewonnenen Paraffin- und Solaröle, das oben Seite 93 erwähnte Gasöl, ferner die auf den Ölfeldern gewonnenen nicht destillierten Rohöle, sowie endlich das Teeröl, welches unter anderem bei der Leuchtgasherstellung als Nebenerzeugnis gewonnen wird. In allerjüngster Zeit ist es sogar gelungen, den Teer selbst als Brennstoff zur unmittelbaren Kräftezeugung zu verwenden. Alle diese Öle, deren schwere Entzündbarkeit und daher Ungefährlichkeit einen großen Vorzug bildet, haben eine Bedeutung eigentlich erst gewonnen durch das Erscheinen der später zu besprechenden Dieselmachine, zu deren Betrieb sie heute hauptsächlich verwendet werden. In Verpuffungsgasmaschinen lassen sie sich nur unter ganz bestimmten Umständen verwenden. Eine solche Art von Verpuffungsgasmaschinen mit Verwendung von Schwerölen soll später bei Gelegenheit der Petroleummaschinen besprochen werden. Der Heizwert der Schweröle beträgt durchschnittlich etwa 9000—10000 WE/kg.

### Drittes Kapitel.

#### Die Maschinen.

**Benzin- und Benzolmaschine.** Die einfachste Art, aus so leichtflüchtigen Brennstoffen, wie z. B. Benzin, ein zur Kräftezeugung in Gasmaschinen geeignetes Verpuffungsgemisch zu bilden, besteht darin, daß man Luft durch eine Schicht von Benzin hindurchsaugt. Sie sättigt sich

dabei so stark mit Benzindämpfen, daß schon hierdurch ein Verpuffungsgemisch zustande kommt, welches, kurz vor dem Eintritt in die Maschine durch nochmaligen Zutritt von Luft verdünnt, ohne weiteres in der Gasmaschine zur Kräfteerzeugung verwendet werden kann.

Diese Art der Bildung eines Gasgemisches, die früher bei Benzinmaschinen vielfach verwendet wurde, hat den Vorteil großer Einfachheit, da irgendwelche empfindlichen, Aufmerksamkeit in der Bedienung und Instandhaltung erfordernden Teile nicht vorhanden sind, sie hat dagegen den Nachteil, daß bei längerer Betriebsdauer eine Gleichmäßigkeit in der Stärke des Gasgemisches nicht zu erzielen ist. Beachtet man nämlich, daß die Herstellung des Benzins bei immerhin ziemlich weit auseinander liegenden Temperaturen (80—100°) geschieht, so erkennt man, daß das Benzin zum Teil aus leichter, zum Teil aber auch aus schwerer flüchtigen Bestandteilen zusammengesetzt sein wird. Saugt man nun die Luft durch einen größeren Vorrat von Benzin hindurch, so werden natürlich zuerst die leichtflüchtigen Bestandteile verdunsten und die angesaugte Luft ziemlich stark mit Benzindämpfen sättigen. Je länger dagegen der Betrieb dauert, um so mehr wird die Sättigung der angesaugten Luft mit Benzindämpfen abnehmen, da ja immer schwerer flüchtige Bestandteile in dem Vorratsgefäße zurückbleiben.

Diesen Übelstand des ungleichmäßigen Gasgemisches vermeidet eine andere heute fast allgemein übliche Art der Gemischbildung. Es wird nämlich die für jede Ladung erforderliche Benzinnmenge von dem ganzen Vorrat abgesondert und der von dem Kolben angesaugten Luft so fein zerstäubt beigemischt, daß diese Mischung sofort in der Maschine zur Verwendung gelangen kann. Eine Ungleichmäßigkeit in der Stärke des Ladungsgemisches ist hierdurch auch bei längerer Betriebsdauer vermieden. Dagegen ist diese Art der Gemischbildung etwas weniger einfach als die erstgenannte Art, weil die Absonderung so kleiner Benzinnmengen, wie sie für jeden Arbeitshub gebraucht werden, und die Regulierung dieses Zuflusses je nach der wechselnden Leistung der Maschine ziemlich empfindliche Maschinenteile voraussetzt. Abb. 33 stellt den Grundgedanken eines Vergasers dar, wie er heute namentlich für die mit Benzin, Benzol, Ergin und Spiritus betriebenen Maschinen eine weite Verbreitung gefunden hat. In einem Gehäuse, das zum Teil mit Brennstoff gefüllt ist, befindet sich ein Schwimmer, durch welchen lose eine Nadel hindurchgeht, die unten in eine Spitze endigt. Diese Nadel verschließt vermittels ihrer eigenen Schwere eine Bodenöffnung, durch welche beim

Anheben der Nadel neuer Brennstoff aus einem höher stehenden Behälter eintreten kann. An das Gehäuse ist ein in eine Düse (Zerstäuberdüse) endigendes Rohr angefügt, in welchem nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhre der Brennstoff ebenso hoch steht, wie in dem Gehäuse. Findet nun der Saughub in der Maschine statt, so entsteht in dem Raume über der Düse ein

Unterdruck: Der Brennstoff tritt aus der Düse aus, wird von der gleichzeitig eindringenden Luft erfaßt und, wie die Abbildung erkennen läßt, in feinste Teilchen zerstäubt. Infolge dieser feinen Zerstäubung verdunstet der Brennstoff sehr rasch und bildet so mit der angesaug-

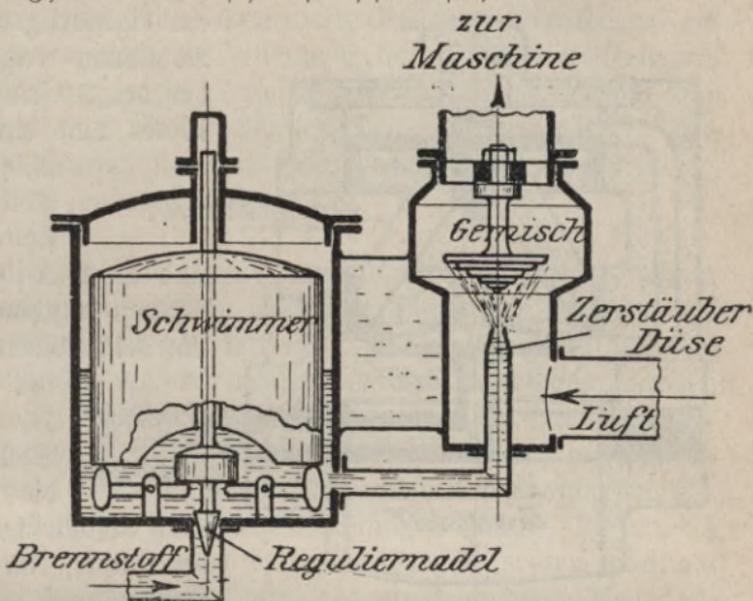


Abb. 33.

ten Luft das Verpuffungsgemisch, welches nachher in der Maschine, genau wie das früher bei den anderen Gasmaschinen beschrieben wurde, zur Kräfteerzeugung verwendet wird. Sinkt der Spiegel des Brennstoffes in dem Gehäuse, so sinkt auch der Schwimmer, drückt dadurch, wie die Abbildung erkennen läßt, auf die etwas verbreiterten Enden von zwei kleinen zweiarmigen Hebeln, deren andere, nach der Nadel zu gelegenen Arme die Nadel in die Höhe schieben und so das Eintreten von neuem Brennstoff in das Gehäuse bewirken. Beim Ansteigen des Schwimmers wird dann durch Sinken der Nadel der Zufluß von Brennstoff selbsttätig wieder abgestellt. Auf diese Weise ist erreicht, daß der Brennstoff in der Düse immer gleich hoch steht und somit bei gleich starkem Ansaugen immer die gleiche Menge Brennstoff in den Zylinder gelangt. Eine Zerstäubereinrichtung dieser Art (auch Schwimmervergaser oder Spritzvergaser genannt) zeigt die auf Seite 73 dargestellte Maschine bei V. Auch die auf Seite 71 dargestellte Benzinmaschine besitzt einen solchen Vergaser, der allerdings

hier nicht sichtbar ist, dagegen sieht man in der Abbildung den Benzinbehälter, von welchem ein dünnes Kupferrohr den Brennstoff dem Vergaser zuführt.

Auf eine etwas andere Weise wird das Zerstäuben des Brennstoffes von Gebr. Körting erreicht. In einem Zylinder (Abb. 34) befindet sich

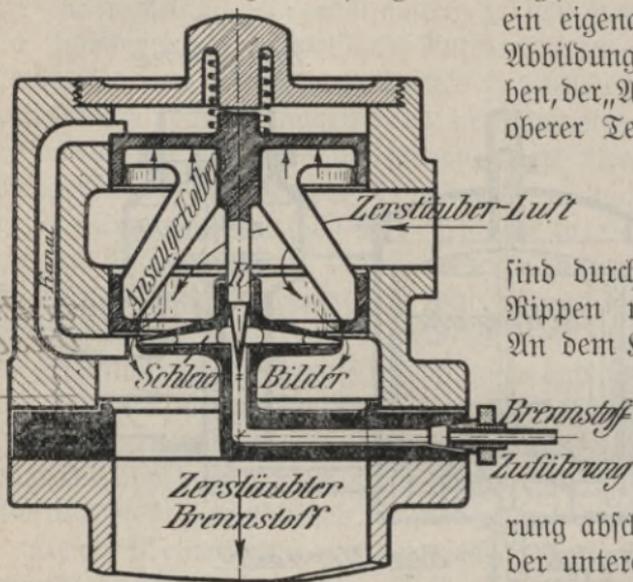


Abb. 34.

ein eigenartig gestalteter (in der Abbildung enggestrichelter) Kolben, der „Ansaugkolben“, dessen oberer Teil eine Scheibe bildet, während der untere Teil ringförmig gestaltet ist. Beide Teile

sind durch A-förmig angeordnete Rippen miteinander verbunden.

An dem Kolben befindet sich ferner die Regulirnadel

R, welche bei tiefster Stellung des Kolbens

die Brennstoffzuführung

abschließt, wobei gleichzeitig

der untere, ringförmige Teil des

Kolbens auf dem tellerförmigen

„Schleierbilder“ aufsitzt. Tritt nun

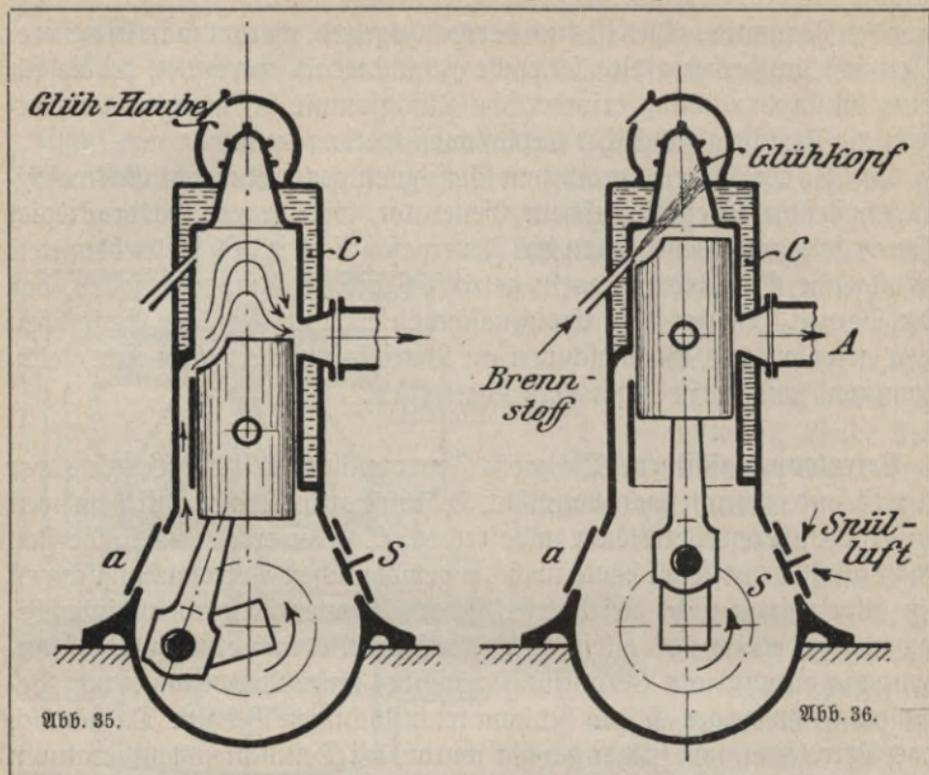
in der Maschine der Saughub ein, so wird, da sich der durch das Ansaugen entstehende Unterdruck durch den in der Abbildung angegebenen „Kanal“ hindurch in den Raum über dem Kolben fortpflanzt, der Kolben durch den Druck der Außenluft in die Höhe gedrückt (die in der Abbildung gezeichnete Stellung). Dadurch tritt aber der aus einem höher stehenden Behälter zufließende Brennstoff in einem tellerförmigen dünnen Schleier auf dem Umfange des „Schleierbilders“ aus, wird durch die gleichzeitig angesaugte und durch die engen Zwischenräume mit großer Geschwindigkeit hindurchströmende Luft zerstäubt und bildet so das zum Betriebe der Maschine erforderliche Verpuffungsgemisch.

Der den Benzin- und Benzolmaschinen gemeinsame Übelstand besteht in der großen Feuergefährlichkeit des Betriebsmittels. Jede Undichtigkeit der Leitungen und der Aufbewahrungsbehälter muß daher vermieden werden, und auch das Einfüllen des Benzins in die zur Maschine gehörigen Behälter muß mit Vorsicht geschehen, unter Fernhaltung aller bren-

nenden Flammen. Dies ist auch der Hauptgrund, warum man in neuerer Zeit fast durchgängig die elektrische Zündungsart anwendet, da die für eine Glührohrzündung erforderliche Zündflamme bei mangelnder Vorsicht die Ursache gefährlicher Explosionen werden kann.

Der Vorteil der besprochenen Maschinen gegenüber den Gasmaschinen besteht in ihrer Einfachheit. Generator, Gasuhr und Gasdruckregler fallen fort, und wenn gegen die Feuergefährlichkeit des Betriebsmittels genügende Vorsichtsmaßregeln getroffen sind, so kann man sagen, daß die Benzin-, Benzol- und Erginmaschinen eben wegen ihrer Einfachheit den gewöhnlichen Gasmaschinen an Betriebsicherheit nicht nur gleichkommen, sondern sie sogar noch übertreffen.

**Petroleummaschinen.** Die große Feuergefährlichkeit des Benzins war der Grund, warum man versuchte, Wärmekraftmaschinen mit dem weit ungefährlicheren Petroleum zu betreiben. Daß dieser Versuch lange Zeit nicht glückte, und selbst heute noch die gewöhnlichen Petroleummaschinen im allgemeinen nicht die Betriebsicherheit guter Benzinmaschinen besitzen, liegt einzig und allein daran, daß die Bildung eines zur Krafterzeugung brauchbaren Verpuffungsgemisches unter Verwendung von Petroleum schwieriger ist, als bei dem leichtflüchtigen Benzin. Da nämlich das Petroleum, wie früher gezeigt wurde, bei Destillationstemperaturen von 170—300° C gewonnen wird, enthält es nur Bestandteile, die bedeutend schwerer flüchtig sind als die Bestandteile des bei Destillationstemperaturen von 80—100° gewonnenen Benzins. Infolgedessen verdunstet auch Petroleum bei gewöhnlicher Lufttemperatur so gut wie gar nicht, und seine Entzündungstemperatur liegt so hoch (etwa bei 600), daß man in gut gereinigtes Petroleum von gewöhnlicher Temperatur unbedenklich ein brennendes Streichholz hineinwerfen kann, ohne eine Entzündung oder gar Explosion befürchten zu müssen. Selbst in ganz feine Teilchen zerstäubt und mit Luft vermischt, bildet das Petroleum noch kein Verpuffungsgemisch, vielmehr ist es nötig, das Petroleum vorher durch Erhitzung in den dampfförmigen Zustand überzuführen, denn erst in dieser Dampfform hat das Petroleum die Eigenschaft, mit Luft vermischt ein zur Krafterzeugung brauchbares Verpuffungsgemisch zu bilden. Die Bildung eines Verpuffungsgemisches bei Petroleummaschinen geschieht heute meist unter Benutzung desselben Schwimmervergasers, wie er oben bei Benzinmaschinen besprochen wurde. Allerdings ist es in diesem Falle nicht möglich, eine Maschine sofort mit Petroleum anzulassen, da ja, wie



wir eben gesehen hatten, für die Bildung eines Verpuffungsgemisches das Petroleum nicht nur zerstäubt, sondern auch verdampft werden muß. Man läßt daher die Maschine zunächst mit einem leichtflüchtigen Brennstoffe (Benzin oder Benzol) an und erst wenn infolge einer Reihe von Verpuffungen die Maschine genügend warm geworden ist, läßt man an Stelle des Benzins Petroleum in den Vergaser eintreten, worauf dann die Maschine mit Petroleum weiter arbeitet.

Ein großer Übelstand solcher Maschinen ist die Notwendigkeit des Vorhandenseins von zwei verschiedenen Brennstoffen, von denen der eine noch dazu sehr feuergefährlich ist. Fehlt aber der Anlaßbrennstoff, so kann auch die Maschine trotz hinreichender Brennstoffmenge nicht in Gang gesetzt werden. Viel Verbreitung, ganz besonders für Schiffsahrtzwecke, hat daher in jüngster Zeit eine andere Maschinengattung gefunden, bei welcher dieser Übelstand vermieden ist. Die Abb. 35 bis 37 zeigen in zwei Schnitten und einer Ansicht eine solche Zweitaktglühkopfmachine, wie sie genannt wird, in einer Ausführung der Gasmotorenfabrik Deutz.

Das Gestell der Maschine ist allseitig geschlossen und besitzt auf einer Seite ein Luftansaugeventil *S*, durch welches von dem hochgehenden Kolben Luft von außen in das Innere des Maschinengestells eingesaugt wird. Kurz bevor der Kolben in seiner höchsten Lage angekommen ist, wird oben durch eine kleine Pumpe Brennstoff, in diesem Falle also Petroleum, gegen den sogenannten Glühkopf gespritzt (Abb. 36), welcher in gleichnäher zu beschreibender Weise in rotglühendem Zustande

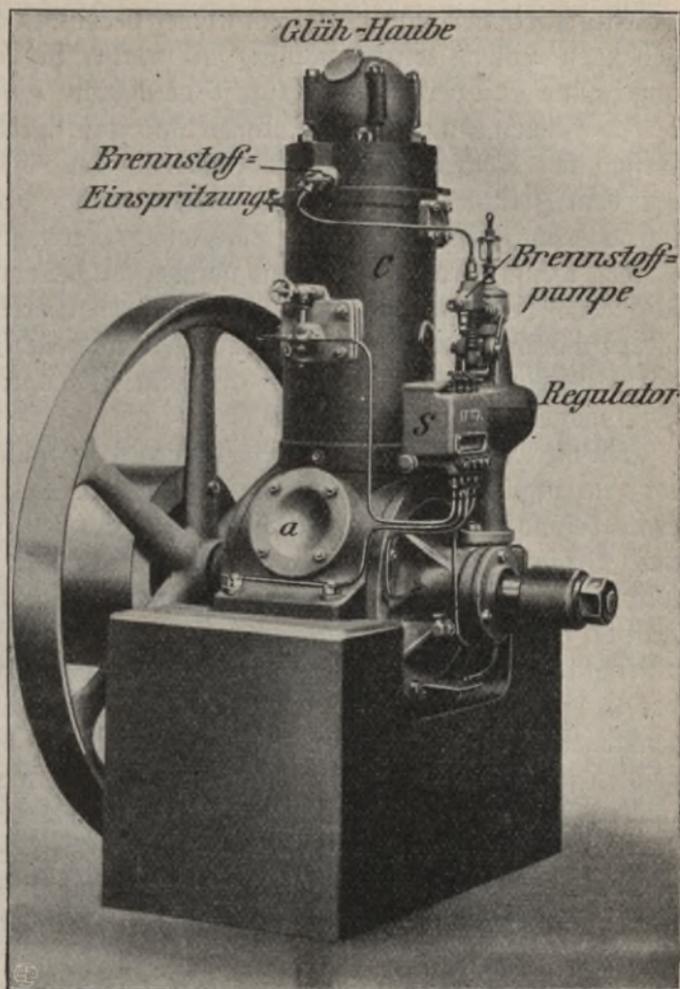


Abb. 37.

gehalten werden muß. Das Petroleum verdampft sofort an den glühenden Wandungen, vermischt sich mit der über dem Kolben befindlichen verdichteten Luft (siehe weiter unten) und wird dann durch die Wärme des Glühkopfes in Verbindung mit der durch die Verdichtung entstehenden Wärme entzündet. Der nach abwärts getriebene Kolben legt nun gegen Ende seines Hubes zunächst den Kanal *A* frei, durch welchen die verbrannten Gase infolge ihrer eigenen, immer noch hohen Spannung nach außen entweichen. Im nächsten Augenblicke öffnet der Kolben auf der linken Seite (Abb. 35) einen Kanal, der das Innere des Maschinen-

gestelltes mit dem Raume über dem Kolben verbindet. Durch den abwärtsgehenden Kolben wurde nämlich die vorher in das Maschinengestell angesaugte Luft verdichtet und diese verdichtete Luft strömt nun durch den geöffneten Kanal in den Zylinder und spült infolge der eigenartigen Gestalt der Kolbenoberfläche, wie Abb. 35 zeigt, die verbrannten Gase aus dem Zylinder hinaus. Beim Aufwärtsgange des Kolbens befindet sich daher im Zylinder nur reine Luft, welche von dem aufwärts gehenden Kolben weiter verdichtet wird und nachher mit dem eingespritzten Brennstoffe das Verpuffungsgemisch bildet. Wie man erkennt, findet hier bei jeder Umdrehung der Maschine, also bei jedem zweiten Takte der Maschine, ein Arbeitshub statt, wir haben also eine Zweitaktmaschine vor uns. Vgl. das Diagramm Abb. 15 S. 67.

Soll die Maschine in Gang gesetzt werden, so muß zunächst der Glühkopf in rotglühenden Zustand versetzt werden. Das geschieht mit Hilfe einer besonderen Lampe nach Art der Lötlampen, deren Stichflamme nach Öffnung des Deckels der Glühhaube auf den Glühkopf gerichtet wird. Ist der Glühkopf erwärmt, was nach etwa 15—20 Minuten der Fall ist, so kann die Maschine angelassen werden, worauf dann durch die aufeinanderfolgenden Zündungen und durch den Schutz der Glühhaube der Kopf eine genügend hohe Temperatur beibehält. Diese Maschinen zeichnen sich durch ungemein große Einfachheit aus, denn, wie man sieht, besitzen sie außer dem kleinen Luftansaugeventil keinerlei Ventile oder sonstige Steuerungsteile, was eine große Betriebssicherheit zur Folge hat. Das ist auch der Grund, warum sie z. B. für Seefischereifahrzeuge heute sehr viel verwendet werden. Ein großer Übelstand besteht nur darin, daß die Maschine nicht sofort betriebsbereit ist, sondern daß es immer erst des Anwärmens mittels einer offen brennenden Flamme bedarf, was neben dem Zeitverlust auch eine nicht zu unterschätzende Feuergefährdung in sich schließt. Der Regulator verändert je nach dem Leistungsbedarfe die Menge des eingespritzten Brennstoffes durch geeignete Einwirkung auf die Brennstoffpumpe. Die Abb. 37 zeigt die Ansicht einer solchen Maschine. Das Luftansaugeventil befindet sich auf der hinteren Seite der Maschine, und zwar an der Stelle, wo auf der vorderen Seite der Deckel *a* sichtbar ist.

Bezüglich des Brennstoffes wäre noch zu bemerken, daß auch schwerflüchtige Öle, z. B. Paraffinöl, Gasöl usw. zum Betriebe dieser Maschinen verwendet werden können.

**Übelstände der gewöhnlichen Petroleummaschinen.** Da das Petro-

leum bei einer Destillationstemperatur bis zu 300° C erzeugt wird (s. S. 93), müßten eigentlich alle Teile der Maschine, mit welchen der mit Luft vermischte Petroleumdampf in Berührung kommt, vor allen Dingen die Zylinderwände, auf dieser hohen Temperatur dauernd erhalten werden, um ein Niederschlagen des Petroleumdampfes zu vermeiden. Das ist jedoch unmöglich. Da nämlich eine Schmierung des Kolbens und damit der Zylinderwände nicht zu umgehen ist, diese Schmierung aber in der Regel mit dem früher erwähnten Mineralöle ausgeführt wird, so würde bei einer derartig hohen Temperatur der Zylinderwände das Öl zum Teil verdampfen, der Kolben würde, wie man sagt, trockenlaufen, er würde festbrennen und die Maschine in kurzer Zeit zum Stillstande bringen. Die Notwendigkeit, den Kolben zu schmieren, erfordert hier also gerade so wie bei den früher besprochenen Gasmaschinen eine Kühlung der Zylinderwände, und die Folge dieser Kühlung ist es, daß sich ein Teil des in die Maschine gelangenden Petroleumdampfes an den verhältnismäßig kalten Wandungen niederschlägt.

Tut das nun auch der Bildung des Verpuffungsgemisches im allgemeinen nur geringen Abbruch, so ist doch gerade hierin der Grund für einen anderen Übelstand zu suchen, der vielen Petroleummaschinen anhaftet: der üble Geruch. Da die Petroleummaschinen ausnahmslos einfachwirkend sind, das heißt da die Zylinder auf einer Seite offen sind (gerade so wie dies früher bei den Gasmaschinen besprochen wurde), so ist es meist gar nicht zu vermeiden, daß bei jedem Hube die mit dem niedergeschlagenen heißen Petroleumdampfe bedeckten Zylinderwänden mit der Außenluft in Berührung kommen. Ein Teil dieses heißen Petroleumdampfes verdunstet, teilt sich der umgebenden Luft mit und bildet so die Ursache für den bei manchen Petroleummaschinen wahrnehmbaren unangenehmen Geruch. Bei der in Abb. 35—37 dargestellten Maschine ist dieser Übelstand, wie man sieht, durch das allseitig geschlossene Gestell vermieden.

Die an den Zylinderwänden anhaftenden, nicht verdampften Petroleumteilchen bilden ferner auch die Ursache für die lästige Verschmutzung, welcher manche Petroleummaschinen schon nach verhältnismäßig kurzer Betriebsdauer ausgesetzt sind. Selbst bei der durch die Zündung eintretenden sehr hohen Temperatur können nämlich jene verdampften Petroleumteilchen gar nicht oder nur unvollständig verbrennen, da es ihnen an der zu ihrer Verbrennung erforderlichen Luftmenge fehlt. Durch unvollständige Verbrennung bildet sich aber Ruß (die

selbe Erscheinung wie bei einer zu hoch geschraubten Petroleumlampe) und dieser Ruß gibt dann, mit Schmieröl vermischt, pechartige Rückstände, welche in verhältnismäßig kurzer Zeit eine Verschmutzung des Zylinderinneren, sowie der meist etwas empfindlichen Einlaß- und Auslaßvorrichtungen herbeiführen. Daß eine solche unvollkommene Verbrennung auch auf den Petroleumverbrauch von Einfluß sein muß, bedarf kaum der Erwähnung. Namentlich wenn bei abnehmender Leistung eine Abkühlung der Maschine eintritt, wird die Verbrennung immer unvollkommener, die Verschmutzung nimmt zu und der Petroleumverbrauch für die Std-PS steigt dann bedeutend, nicht selten doppelt so hoch, als er bei der Nennleistung der Maschine beträgt.

**Spiritusmaschinen.** Die Bildung eines Ladungsgemisches bei Spiritusmaschinen geschieht unter Verwendung derselben Vorrichtungen, wie sie früher bei den Benzin- und Benzolmaschinen besprochen wurden. Da jedoch der Spiritus etwas weniger leichtflüchtig ist als die genannten beiden Stoffe, so muß er nach erfolgter Zerstäubung, ähnlich wie dies bei Petroleummaschinen besprochen wurde, unter Zuführung von Wärme verdampft werden. Eine solche Verdampfung bereitet gar keine Schwierigkeiten, da hierfür beim Spiritus wesentlich geringere Wärmemengen und wesentlich niedrigere Temperaturen nötig sind als beim Petroleum, und die einzelnen Teile der Maschine, welche von dem Gemisch vor Eintritt in den Zylinder durchströmt werden müssen, während des Ganges der Maschine genügend warm sind, um die nötige Verdampfung des Spiritus herbeizuführen.

Man erkennt aber, daß genau wie bei den Petroleummaschinen ein Anlassen der Maschine mit Spiritus unmöglich ist, da Wärme eben nur dann zur Verfügung steht, wenn die Maschine einmal im Gange ist. Auch Spiritusmaschinen müssen daher zunächst mit Benzin oder Benzol angelassen werden, Brennstoffe, bei denen ja, wie aus den früheren Betrachtungen hervorgeht, eine Verdampfung unter Wärmezuführung nicht nötig ist.

Eine Eigentümlichkeit der Spiritusmaschinen, durch welche sie sich vorteilhaft namentlich gegenüber den Petroleummaschinen auszeichnen, ist der Umstand, daß die Verbrennung im Inneren der Maschine eine sehr vollkommene ist. Dies hat einmal zur Folge, daß die Abgase der Maschine fast geruchlos sind, dann aber auch, daß das Innere der Maschine nur wenig verschmutzt, woraus sich als weiterer Vorteil eine große Betriebssicherheit der Spiritusmaschine ergibt.

Der Grund, warum die Verbrennung in der Spiritusmaschine eine so vollkommene ist, ist der, daß es schon recht niedriger Temperaturen bedarf, um aus dem Gemisch von Luft und Spiritusdampf durch Abkühlung ein Niederschlagen des Spiritusdampfes im Inneren des Zylinders und damit zusammenhängend eine unvollkommene Verbrennung des Spiritus hervorzurufen. Bei den Petroleummaschinen tritt ein solches Niederschlagen des verdampften Petroleums mit seinen üblen Folgen schon dann ein, wenn die Temperatur irgendwelcher Wandungsteile unter  $300^{\circ}\text{C}$  sinkt. Beim Spiritus dagegen, auf dessen leichte Verdampfungsfähigkeit oben hingewiesen wurde, könnte ein solches Niederschlagen erst dann eintreten, wenn einzelne Teile der Wandungen sich unter  $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$  abkühlen, was wohl schon deshalb unmöglich ist, weil selbst bei Verwendung reichlicher Kühlwassermenge die Wandungstemperaturen stets wesentlich höher sein dürften als  $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$ .

Eine weitere bemerkenswerte Eigentümlichkeit der Spiritusmaschine ist die weitgehende Verdichtung, welche hier im Verlaufe der Viertaktwirkung vor der Zündung möglich ist und bis zu 15 atm und darüber getrieben werden kann, während z. B. für Benzinmaschinen der höchste zulässige Verdichtungsdruck nur etwa 5—6 atm, bei Petroleummaschinen nur etwa 4 atm beträgt. Der Grund für die Möglichkeit einer so hohen Verdichtung beim Spiritusluftgemisch liegt zum Teil darin, daß Alkohol an und für sich weniger starke Verpuffungsgemische bildet, dann aber hauptsächlich darin, daß Spiritus ja immer Wasser enthält, durch dessen Verdampfung im Augenblicke der Verpuffung ein Teil der erzeugten Wärme gebunden wird, wodurch die Heftigkeit des Verpuffungsstoßes wesentlich gemildert wird.

Diese Möglichkeit einer sehr hohen Verdichtung vor der Zündung ist aber nach unseren früheren Betrachtungen (S. 64) der Grund für eine Wärmeausnutzung, die nur noch von der später zu besprechenden Dieselmachine übertroffen wird.

Dem Vorteil der guten Verbrennung und der dadurch bewirkten Betriebssicherheit, sowie der vorzüglichen Wärmeausnutzung steht allerdings als Nachteil der hohe Preis des Spiritus gegenüber, oder anders ausgedrückt: der hohe Preis der mit Hilfe des Spiritus erzeugten WE (s. S. 40). Dieser Übelstand hat zur Folge, daß trotz der vorzüglichen Wärmeausnutzung die Brennstoffkosten für die Std-PS bei Spiritusmaschinen noch höher sind als bei gleichgroßen Benzol- und sogar Benzinmaschinen, so daß Spiritusmaschinen im allgemeinen nur dort gegen Benzol- und Benzinmaschinen im Vorteil sein werden, wo etwa die geringere Feuergefähr-

lichkeit des Brennstoffes, sowie vor allen Dingen die leichte Beschaffung des Spiritus' als Krafterzeugungsmittel in Frage kommt. Das ist aber bekanntlich bei den Kraftmaschinen zum Betriebe landwirtschaftlicher Maschinen der Fall, und so erklärt es sich, daß Spiritusmaschinen namentlich in der Form der Spirituslokomobilen gerade für landwirtschaftliche Zwecke Verbreitung gefunden haben.

## Fünfter Abschnitt.

### Gasmaschine mit langsamer Verbrennung (Dieselmaschine).

**Allgemeines.** Zu den in den vorhergehenden Abschnitten behandelten neueren Wärmekraftmaschinen ist in dem letzten Jahrzehnt des verflohenen Jahrhunderts noch eine weitere hinzugetreten, die zwar im allgemeinen Aufbau den übrigen Gasmaschinen ähnlich, in ihrer Wirkungsweise jedoch in wesentlichen Punkten von ihnen abweicht; es ist die in neuerer Zeit zu so großer Berühmtheit gelangte Dieselmaschine, so benannt nach dem kürzlich auf so tragische Weise ums Leben gekommenen Ingenieur Rudolf Diesel, welcher die erste Anregung zu dem Bau dieser Maschine gegeben hat.

**Hohe Verdichtung.** Um den Fortschritt zu verstehen, welcher in der Arbeitsweise der Dieselmaschine liegt, muß vor allen Dingen auf die in den früheren Erörterungen öfters angeführte Tatsache hingewiesen werden, daß bei allen Gasmaschinen im engeren und weiteren Sinne der thermische Wirkungsgrad der Maschine, das heißt das Verhältnis der in Arbeit umgewandelten Wärme zur gesamten aufgewendeten Wärmemenge (S. 26) um so höher wird, je kleiner das Volumen ist, bei welchem die Zündung stattfindet, oder anders ausgedrückt, daß die der Maschine zugeführte Wärme um so besser ausgenutzt wird, je höher die Verdichtung vor der Zündung getrieben wird. Wenn man nun auch in neuerer Zeit mit der Verdichtung im allgemeinen weiter hinaufgeht, als es früher für zulässig erachtet wurde, so ist man doch mit Rücksicht auf die Gefahr vorzeitiger Selbstentzündung des Gasgemisches bei allen übrigen Gasmaschinen an verhältnismäßig enge Grenzen gebunden, welche je nach Umständen etwa zwischen 4 und 15 atm schwanken. Da nun bei der Dieselmaschine die Verdichtung vor der Zündung etwa bis auf 35 atm Überdruck getrieben wird, so muß auch der thermische Wirkungsgrad der Dieselmaschine höher, das heißt die Wärmeausnutzung besser sein als bei allen bisher besprochenen Gasmaschinen.

In der Tat! Schon auf Seite 40 wurde erwähnt, daß große Dieselmotoren nur etwa 1800 WE für 1 Std-PS verbrauchen. Dies ergibt aber nach den früher (S. 27) angestellten Berechnungen einen wirtschaftlichen Wirkungsgrad von

$$\eta_w = \frac{632}{1800} = 0,35 \text{ oder } 35 \text{ v. H.}$$

Das Mittel, welches Diesel anwendete, um ohne Gefahr einer vorzeitigen Selbstzündung eine derartig hohe Verdichtung vor der Zündung zu ermöglichen, bestand darin, daß er den Brennstoff nicht schon während des Anzuges der Luft beimißte, sondern die Maschine nur reine Luft ansaugen

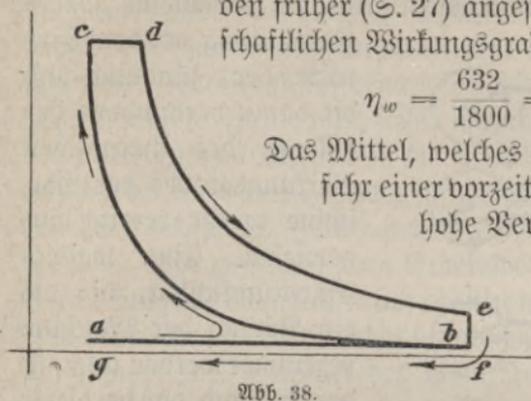


Abb. 38.

und diese Luft allein bis auf die vorher angegebene Höhe verdichten ließ.

**Arbeitsweise.** Das Diagramm Abb. 38 erläutert die Arbeitsweise, die Gerippsskizze Abb. 41 (S. 111) den allgemeinen Aufbau der Dieselmotore. Geht der Maschinenkolben nach abwärts, so saugt er während des ganzen Hubes ab (Abb. 38) reine Luft an (in den Abb. 41 u. 42 aus dem Maschinengestell). Während des zweiten Hubes verdichtet dann der nach aufwärts gehende Kolben bei geschlossenen Ventilen die angesaugte Luft bis auf etwa 30–35 atm, wodurch die Temperatur der Luft bis weit über die Entzündungstemperatur der meisten Brennstoffe, das heißt bis über 600° C gesteigert wird (Kurve bc Abb. 38). Ist der Kolben im oberen Totpunkte angekommen, so beginnt die auf S. 110 näher beschriebene Zuführung des Brennstoffes. In fein verteiltem Zustande während des Kolbenweges cd, Abb. 38, in die glühend heiße Luft eingeführt, entzündet sich der Brennstoff in dem Maße, wie er durch das „Einblaseventil“ (Abb. 41 S. 111) eingeführt wird, augenblicklich und verbrennt, da er ja Luft in genügender Menge vorfindet, sofort in vollkommenster Weise. Dann findet während des übrigen Kolbenhubes de (Abb. 38) ganz wie bei den gewöhnlichen Gasmaschinen eine Ausdehnung der heißen, hochgespannten Gase statt, durch Öffnung des Auspuffventiles im Punkte e verlieren die Gase ihre Spannung und werden dann mit Außenluftspannung aus der Maschine ausgetrieben (fg), worauf das Spiel von neuem beginnt.

Abb. 39 a. f. S. zeigt noch einmal im Zusammenhange diese Vorgänge. Die Abbildung dürfte ohne weiteres verständlich sein.

Der eben besprochene Kreisprozeß weist verschiedene Eigentümlichkeiten auf, durch welche er sich wesentlich von dem Kreisprozeß der früher behandelten Viertaktmaschinen unterscheidet. Auf die bedeutend höhere

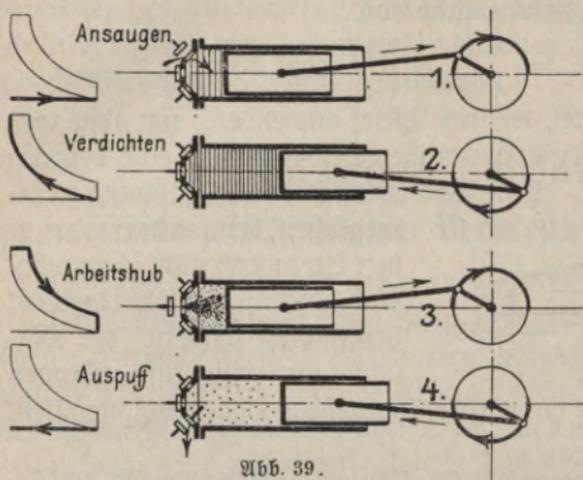


Abb. 39.

Verdichtung vor dem Eintritt der Zündung und die damit verbundene Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades der Maschine wurde bereits hingewiesen. Eine weitere Eigentümlichkeit, die als ein Vorzug der Maschine bezeichnet werden muß, ist der Umstand, daß bei dieser Arbeitsweise eine vollständig sichere, zuverlässige Zündung des Brennstoffes eintritt, ohne daß irgendeine Zündvorrichtung an der Maschine vorhanden wäre. Der dritte wesentliche Unterschied besteht in der Art der Wärmezuführung, das heißt in der Art der Verbrennung des zugeführten Brennstoffes. Bei allen früher besprochenen Gasmaschinen im engeren und weiteren Sinne wird das ganze zur Verwendung gelangende Ladungsgemisch, wenn auch nicht augenblicklich, so doch außerordentlich rasch mit einem Male entzündet. Anders dagegen bei der Dieselmotorschleife. Hier wird der Brennstoff sozusagen allmählich eingeführt, und es ist leicht zu ersehen, daß man den Eintritt des Brennstoffes in den Zylinder nach Belieben regeln können, beispielsweise so, daß während der Verbrennung die Spannung dieselbe bleibt.

Wegen dieser verhältnismäßig lange andauernden Verbrennung des allmählich eingeführten Brennstoffes im Gegensatz zu der raschen Verpuffung des gesamten Ladungsgemisches bei allen früher erwähnten Gasmaschinen, kann man die Dieselmotorschleife als Gasmaschine mit langsamer Verbrennung bezeichnen, während man zweckmäßigerweise die früher besprochenen Gasmaschinen unter dem Namen Explosions- oder Verpuffungsmaschinen zusammenfaßt.

**Regulierung.** Neben der schon früher (S. 107) erwähnten guten Wärmeausnutzung weist die Dieselmotorschleife noch einen Vorteil auf, durch welchen

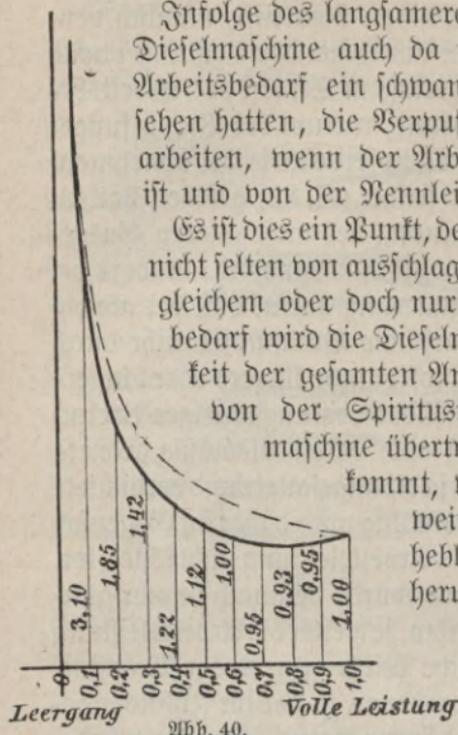
sie sämtliche bisher besprochenen Gasmaschinen übertrifft, nämlich den, daß ihr wirtschaftlicher Wirkungsgrad bei abnehmender Leistung etwas langsamer abnimmt, zunächst sogar, bei geringem Sinken des Arbeitsbedarfes, ein klein wenig zunimmt. Der Grund, warum bei Verpuffungsmaschinen der Brennstoffbedarf für eine Nutzpferdestärke bei abnehmender Leistung so stark wächst, liegt, wie wir früher (S. 82) gesehen hatten, vor allen Dingen darin, daß die Verbrennung des angesaugten Gasgemisches bei sinkender Leistung immer unvollkommener wird. Anders bei der Dieselmachine. Hier besteht die Regulierung darin, daß bei abnehmendem oder zunehmendem Arbeitsbedarfe die Brennstoffzufuhr durch Einwirkung des Regulators auf die Brennstoffpumpe kürzere oder längere Zeit andauert. Wird nun aber bei abnehmender Leistung weniger Brennstoff eingeführt, so findet der Brennstoff eine verhältnismäßig größere Menge Luft zu seiner Verbrennung vor, da ja die angesaugte und verdichtete Luftmenge stets dieselbe bleibt. Die Verbrennung wird daher im Gegensatz zu allen anderen Gasmaschinen bei sinkender Arbeitsleistung nicht schlechter, sondern höchstens noch besser, die Maschine würde demnach immer günstiger, das heißt immer wirtschaftlicher arbeiten, je weiter die Arbeitsleistung sinkt, wenn nicht gleichzeitig der mechanische Wirkungsgrad der Maschine, das heißt das Verhältnis der nutzbar abgegebenen zu der im Zylinder geleisteten Arbeit bei abnehmender Leistung fortwährend schlechter würde, aus dem Grunde, weil die von der Maschine zu überwindenden Widerstände stets fast dieselben bleiben, ganz gleichgültig, ob die Maschine mehr oder weniger Arbeit leistet. Die Folge davon ist, daß der wirtschaftliche Wirkungsgrad (das Produkt aus thermischem und mechanischem Wirkungsgrade) bei sinkender Arbeitsleistung zunächst zwar etwas zunimmt, dann aber ebenfalls abnimmt, jedoch etwas langsamer, als dies bei den gewöhnlichen Verpuffungsmaschinen der Fall ist.

Sehr deutlich zeigt dies die Schaulinie<sup>1)</sup>, Abb. 40, welche in derselben Weise erhalten wurde, wie die, welche durch Abb. 28 S. 83 den Brennstoffbedarf der Verpuffungsmaschinen bei abnehmender Leistung darstellt. Bezüglich der Erklärung kann auf die damaligen Erörterungen verwiesen werden. Die in Abb. 40 eingetragene punktierte Linie stellt noch einmal die Schaulinie der Abb. 28 dar, um das Sinken des Wirkungsgrades bei den beiden Maschinengattungen, Verpuffungsmaschinen und Dieselmachine, vergleichen zu können.

1) Mujil, Wärmemotoren. Braunschweig 1899.

Infolge des langsameren Sinkens des Wirkungsgrades kann die Dieselmaschine auch da mit Vorteil verwendet werden, wo der Arbeitsbedarf ein schwankender ist, während, wie wir früher gesehen hatten, die Verpuffungsmaschinen nur dann wirtschaftlich arbeiten, wenn der Arbeitsbedarf ein möglichst gleichbleibender ist und von der Kennleistung der Maschine nur wenig abweicht.

Es ist dies ein Punkt, der für die Verwendung der Dieselmaschine nicht selten von ausschlaggebender Bedeutung ist. Bei fortwährend gleichem oder doch nur in engen Grenzen schwankendem Kraftbedarf wird die Dieselmaschine, was lediglich die Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage betrifft, von der Benzol- und auch von der Spiritusmaschine erreicht, von der Sauggasmaschine übertroffen, sowie aber ein Betrieb in Frage kommt, wo der Arbeitsbedarf häufig innerhalb weiter Grenzen schwankt und namentlich erheblich unter die Kennleistung der Maschine heruntersinkt, tritt die Überlegenheit der Dieselmaschine zutage, wie ein Vergleich der beiden Kurven in Abb. 40 sofort erkennen läßt.



**Aufbau und Einzelheiten der Maschine.** Abb. 41 zeigt in einer Gerippsskizze Aufbau und wichtigere Einzelheiten der Dieselmaschine. Um die Skizze übersichtlicher zu machen, ist der Kühlwassermantel um den Zylinder fortgelassen.

Bemerkenswert ist z. B. die Art der Einführung des Brennstoffes in die am Ende der Verdichtung im Arbeitszylinder befindliche, auf 30—35 atm verdichtete Luft. Eine kleine, von der Maschine selbst angetriebene Brennstoffpumpe bringt zunächst eine geringe, durch den Regulator beeinflusste Brennstoffmenge in den über dem sogenannten Einblase- oder Zerstäuberventil befindlichen Raum, in welchen gleichzeitig von einer Luftpumpe her Luft von sehr hoher Pressung (50—60 atm) hineingepreßt wird. In dem Augenblicke, wo die Einführung des Brennstoffes erfolgen soll, wird das Ventil angehoben und so der Brennstoff vermöge der hochgespannten Preßluft in ganz fein verteiltem Zustande in den Zylinder hineingeblassen. Die genannte Luftpumpe, die eine besondere Eigentümlichkeit der Dieselmaschine bildet, ist in der Gerippsskizze der Einfachheit wegen als einzylindrige Pumpe dargestellt. In Wirklichkeit besitzen diese

Luftpumpen bei den neueren Ausführungen einen Niederdruck- und einen Hochdruckzylinder, in welchen nacheinander die Luft auf die verlangte Pressung von etwa 60 atm verdichtet wird.

Um übrigens immer einen Vorrat an Einblase- luft zur Verfügung zu haben, wird die von der Pumpe erzeugte Preß- luft in ein besonderes neben der Maschine aufge- stelltes Einblasegefäß hineingedrückt, von welchem sie dann, vermittels der „Einblaseleitung“, zu dem Einblaseventile ge- leitet wird.

**Anlassen.** Die ebenge- nannte Luftpumpe liefert gleichzeitig auch noch die zum Anlassen der Ma- schine nötige Druckluft, welche in einem oder in der Regel in zwei, ebenfalls neben der Maschine stehenden Gefäßen, dem sogenannten Anlaß- und Reserveanlaßgefäße, aufgespeichert wird.

Soll die Maschine angelassen werden, so wird der Winkelhebel, welcher das Anlaßventil betätigt, so eingestellt, daß die Maschine nach Öffnung des Hahnes am Anlaßgefäß während einiger Umdrehungen wie eine mit Preßluft getriebene Maschine umläuft. Ist die erfahrungsgemäß not- wendige minutliche Umdrehzahl der Maschine erreicht, so wird das Anlaß- ventil durch einen auf der Welle *W* (Abb. 42) sitzenden Handhebel (links vom Buchstaben *W*) außer Tätigkeit gesetzt, worauf der gewöhnliche Gang der Maschine beginnt. Sollte durch irgendeinen Zufall der Druck in dem

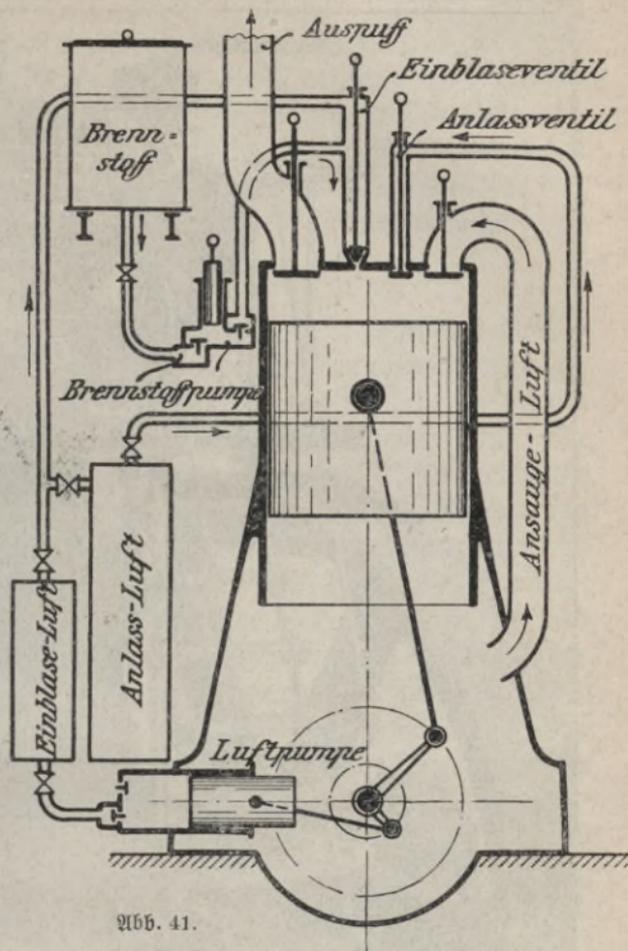


Abb. 41.

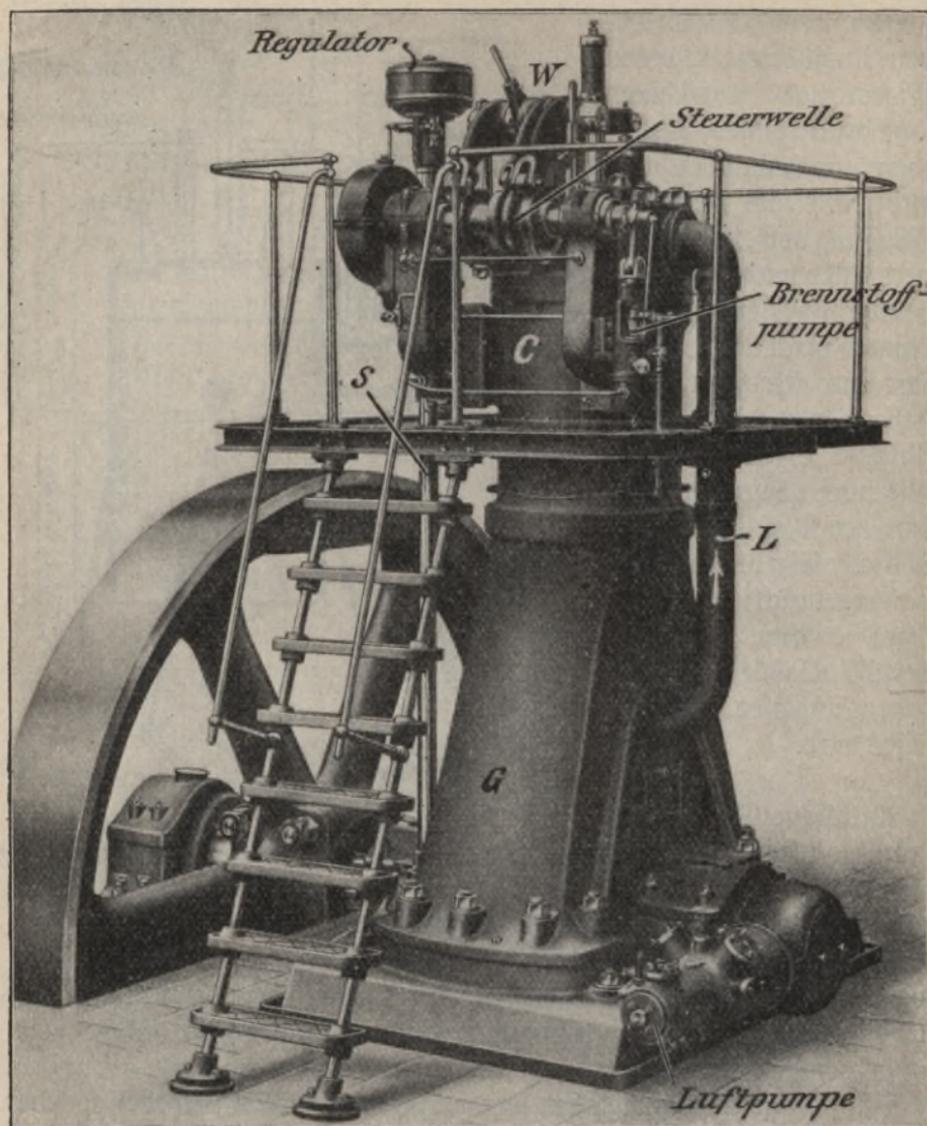


Abb. 42.

Luftbehälter verloren gehen, so ist Vorseege getroffen, daß die Maschine auch mit verdichteter Kohlenäure in Gang gesetzt werden kann.

Abb. 42 zeigt das Bild einer einzylindrigen stehenden Dieselmaschine nach einer Ausführung der Gasmotorenfabrik Deutz. Die vier im Deckel untergebrachten Ventile (siehe Gerippfskizze) werden von einer Steuer-

welle aus betätigt, auf welcher für jedes Ventil eine unrunde Scheibe sitzt. Diese unrunder Scheiben wirken je auf das eine Ende von zweiarmigen Hebeln, deren Drehpunkt sich auf der Welle *W* befindet und deren anderes Ende die einzelnen Ventile betätigt (ähnlich wie in Abb. 25 S. 81). Der Antrieb der Steuerwelle geschieht mit Hilfe von Regelrädern und der senkrechten Welle *S* von der Hauptwelle der Maschine aus. Es ist klar, daß auch hier die Steuerwelle nur halb soviel Umdrehungen machen darf, als die Hauptwelle der Maschine (s. S. 72).

**Die zum Betriebe geeigneten Brennstoffe.** Ein wesentlicher Vorteil der Dieselmachine besteht darin, daß die Auswahl der zum Betriebe geeigneten Brennstoffe sehr groß ist. Es können hier sämtliche im dritten Abschnitte erwähnten flüssigen Brennstoffe verwendet werden, und zwar mit besonderem Vorteil auch alle die schwerflüchtigen Öle, für welche die Industrie bis zum Erscheinen der Dieselmachine nur wenig Verwertung hatte. Derartige Stoffe sind, um sie noch einmal zu nennen: die durch Destillation deutscher Braunkohle gewonnenen Öle (Paraffinöl, Solaröl); amerikanische, russische, galizische und deutsche Rohöle, wie sie aus den Quellen kommen; die bei hohen Destillationstemperaturen gewonnenen Gasöle; russische Naphthariückstände (das sogenannte Masut) und endlich in neuester Zeit das u. a. bei der Leuchtgasherstellung als Nebenerzeugnis gewonnene Teeröl, ja sogar der Teer selbst. Gerade die Möglichkeit der Verwendung aller dieser sonst schwer verwertbaren und daher verhältnismäßig billigen Öle war es, die der Dieselmachine in Verbindung mit ihrer vorzüglichen Wärmeausnutzung zu einer Verbreitung verholfen hat, wie sie in der Geschichte der Wärmekraftmaschinen fast beispiellos dasteht.

**Einige weitere Vorteile** der Dieselmachine seien im folgenden kurz zusammengefaßt. Da jede Gasbereitungsanlage fortfällt, erfordert die Aufstellung wenig Raum und die Bedienung gestaltet sich ungewöhnlich einfach und daher auch betriebsicher. Die Maschine kann auch in minderwertigen Räumen untergebracht werden (was im Inneren von Großstädten von Bedeutung ist), während dies z. B. bei Sauggasanlagen nicht möglich ist, da hier des immerhin giftigen Gases wegen von der Aufsichtsbehörde sehr häufig erschwerende Bedingungen gestellt werden. Überhaupt besitzt die Dieselmachine gegenüber den Sauggasanlagen eine Reihe betriebstechnischer Vorteile, was insoweit beachtens-

wert ist, als gerade die Sauggasanlagen zu denjenigen Wärmekraftmaschinen gehören, deren Betrieb sich durch hohe Wirtschaftlichkeit auszeichnet. Bei der Dieselmaschine fällt z. B. fort die Schwierigkeit der Fortschaffung von Asche und Schlacke, sowie die Schwierigkeit der Fortschaffung des durch Geruch und durch seine chemische Wirkung gleich lästigen Skrubberwassers. Die Dieselmaschine ist sofort betriebsbereit, während ein Gaserzeuger nach jeder längeren Betriebspause erst angeblasen werden muß, was immerhin 20—30 Minuten und noch mehr Zeit in Anspruch nimmt. Beim Stillstande verbraucht die Dieselmaschine keinen Brennstoff, während der Gaserzeuger, wenn auch langsam, weiterbrennt. Die Dieselmaschine gestattet ohne weiteres einen ununterbrochenen Betrieb, während der Gaserzeuger von Zeit zu Zeit abgeschlakt und gereinigt werden muß. Schließlich wäre gegenüber den im dritten Abschnitte besprochenen Maschinen hervorzuheben die Gefahrlosigkeit und vor allen Dingen die Billigkeit der zum Betriebe von Dieselmaschinen hauptsächlich verwendeten Brennstoffe, denn während z. B. selbst bei Verwendung von im Inlande hergestellten Benzols 10000 WE etwa 30 Pfd. kosten, stellt sich bei Verwendung von Teeröl der Preis nur auf etwa 5 Pfd.

**Übelstände der Dieselmaschine.** All den erwähnten Vorteilen der Dieselmaschine stehen jedoch auch wiederum einige nicht abzuleugnende Nachteile gegenüber, die in dem ganzen Wesen der Maschine begründet sind.

Ein Übelstand, der schon früher bei der allgemeinen Besprechung des Viertaktes erwähnt wurde, tritt bei der Dieselmaschine ganz besonders zutage, nämlich die Unregelmäßigkeit des Ganges während eines Viertaktes, verursacht durch die große Höhe, bis zu welcher die Verdichtung vor der Zündung getrieben wird. Eine Folge davon ist, daß die Maschine sehr schwere Schwungräder braucht, und daß, wenn besonders große Gleichförmigkeit des Ganges verlangt wird, die Maschine mindestens als Zwillingmaschine ausgeführt werden muß, so daß dann, wie früher (S. 61) erwähnt, wenigstens bei jeder Umdrehung der Maschinenwelle eine Zündung stattfindet.

Diese schweren Schwungräder im Verein mit den sehr hohen Drücken, die bei dem Betriebe der Dieselmaschine vorkommen (30—35 atm im Kraftzylinder, 60 atm und darüber in der Luftpumpe, der Einblaseleitung usw.), machen einen besonders kräftigen Bau der ganzen Maschine notwendig, was zunächst die Wirkung hat, daß die Reibungsverluste in der Maschine höher werden als bei anderen Gasmaschinen, wodurch wiederum

der mechanische Wirkungsgrad der Maschine beeinträchtigt wird. Ferner aber ist bekanntlich das Gewicht einer Maschine in hohem Maße ausschlaggebend für ihren Preis, und wenn man bedenkt, daß die ganze Wirkungsweise der Maschine eine besonders sorgfältige und dadurch teure Herstellung erfordert, so wird es verständlich sein, daß der Anschaffungspreis einer Dieselmotore ungleich höher ist als der anderer gleichstarker Gasmaschinen.

Dieser hohe Herstellungspreis hat nun wieder weitere mißliche Folgen. Für kleinere Maschinen, etwa unter 10—12 PS<sub>n</sub> würde der Preis so unverhältnismäßig hoch werden, daß ein Wettbewerb mit anderen Gasmaschinen, namentlich Sauggasmaschinen und Benzinmaschinen, ausgeschlossen ist. Aber selbst für diese kleinsten Leistungen, für welche die Dieselmotore noch gebaut wird, spielt der Anschaffungspreis eine so wesentliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit des ganzen Betriebes, daß hier ein Wettbewerb mit anderen Gasmaschinen wohl nur dort möglich ist, wo etwa die Verwendung eines billigen Brennstoffes von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Bezüglich der neueren Entwicklung der Dieselmotore als Zweitaktmaschine, Großgasmaschine, als umsteuerbare Schiffsmotore usw. sei auf die betreffenden Abschnitte in dem Bändchen Neuere Wärmekraftmaschinen II dieser Sammlung verwiesen.

## Schluß.

### Warum baut man noch Dampfmaschinen?

Diese Frage ist berechtigt gegenüber den im vorhergehenden eingehend erörterten Vorzügen, welche die Gasmaschinen gegenüber den Dampfmaschinen besitzen. Diese Vorzüge bestehen, um es noch einmal kurz zusammenzufassen, in der Einfachheit der Anlage, der Einfachheit und Gefahrlosigkeit des Betriebes, der steten Gebrauchsfertigkeit und vor allen Dingen in der bei weitem besseren Ausnutzung der zugeführten Wärme.

Es kann nun nicht verschwiegen werden, daß es verschiedene Punkte gibt, in denen die Dampfmaschine der Gasmaschine nicht nur überlegen ist, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach auch immer überlegen bleiben wird. Das Ingangsetzen einer Gasmaschine ist bei weitem nicht so einfach wie das Ingangsetzen einer Dampfmaschine. Nur unter ganz be-

stimmten Voraussetzungen ist es, wie früher bereits hervorgehoben, möglich, die Gasmaschine unter teilweiser oder voller Belastung in Gang zu setzen, während dies bei der Dampfmaschine jederzeit ohne Schwierigkeit möglich ist. Zweitens erfordert die Gasmaschine bei aller Einfachheit doch eine weit sorgfältigere und verständigere Bedienung als eine Dampfmaschine, was seinen Grund hat in den außerordentlich hohen Temperaturen, welche in der Gasmaschine vorkommen. Eine einmalige Unvorsichtigkeit oder Vergeßlichkeit des Wärters, der es etwa unterläßt, das Kühlwasser anzustellen, ein Versagen oder Nichtanstellen der Schmier- vorrichtung hat in kürzester Zeit ein Trockenlaufen des Kolbens zur Folge, und wird diesem Übelstande nicht sofort abgeholfen, so kann die Maschine binnen wenigen Minuten bis zur Betriebsunfähigkeit beschädigt sein. Bei der Dampfmaschine dagegen ist ein Versagen der Kolbenschmiervorrichtung aus dem Grunde weniger gefährlich, weil erstens der Dampf niemals die hohen Temperaturen erreicht, wie sie in der Gasmaschine bei der Verpuffung des Gasgemisches vorkommen, und weil ferner der Dampf, falls er nicht hoch überhitzt ist, schon an sich eine gewisse Schmierfähigkeit besitzt, so daß der Kolben selbst eine längere Zeit hindurch eine Ölschmierung ohne bedeutenden Schaden für die Maschine entbehren kann.

Die Unregelmäßigkeit des Ganges, namentlich der einfachen Viertaktmaschinen und die sich daraus ergebenden Übelstände wurden bereits besprochen, ebenso, daß die Regulierung der Gasmaschine gewisse Schwierigkeiten aufweist, die bei der Dampfmaschine nicht vorhanden sind. Jedoch sind mit Bezug hierauf in letzter Zeit so große Fortschritte gemacht, daß jetzt die Regulierfähigkeit guter, namentlich großer Gasmaschinen, der Regulierfähigkeit gleichgroßer Dampfmaschinen wenig nachsteht.

Sehr mißlich ist ferner, daß Gasmaschinen, mit Ausnahme etwa einer besonderen Art von Dieselmotoren, nur in einer Richtung umlaufen können, daß sie also, wie man sagt, nicht umsteuerbar sind. Das ist wohl einer der größten Übelstände im Gegensatz zur Dampfmaschine und schließt die Gasmaschine von einer Reihe von Anwendungsgebieten aus, wo sie sonst in der Form der Koks- und Gichtgasmaschinen, z. B. im Bergwerks- und Hüttenbetriebe, sehr wesentliche wirtschaftliche Vorteile bieten würde.

Ein weiterer Nachteil aller Gasmaschinen besteht darin, daß sie gegen Überlastungen außerordentlich empfindlich sind. Eine Gasmaschine, der eine größere Arbeit zugemutet wird, als sie bei regelmäßig eintreten-

den Zündungen zu leisten vermag, gleicht einem störrischen Pferde, das überanstrengt wird, das heißt: sie bleibt stehen. Wird nämlich die verlangte Arbeit über das Höchstmaß gesteigert, so muß die Maschine langsamer gehen; wenn sie aber langsamer geht, wird die Gemischbildung und die Verbrennung, das heißt die Wärmeausnutzung eine unvorteilhafte. Es wird ein kleineres Diagramm zustande kommen oder mit anderen Worten: die Maschine leistet weniger Arbeit (statt der erforderlichen Mehrarbeit!). Leistet sie aber weniger Arbeit, so geht sie wieder langsamer, und so weiter fort; die Maschine bleibt nach kurzer Zeit stehen. Bei der Dampfmaschine ist das nicht der Fall. Die Dampfmaschine gleicht darin — um bei demselben Bilde zu bleiben — einem guten, willigen Pferde, welches eine schwere Last, die man ihm zumutet, zwar mit geringerer Geschwindigkeit, aber doch stetig weiterzieht. Mit anderen Worten: eine stark überlastete Dampfmaschine verlangsamte zwar ihren Gang, gegebenenfalls so stark, daß sie eben nur noch über die beiden Totpunkte hinwegkommt, sie arbeitet aber doch längere Zeit ruhig fort, da die Größe der Arbeitsleistung während einer Umdrehung, das heißt die Größe des Diagrammes sich bei verlangsamtem Gange nicht wie bei der Gasmaschine verringert.

Auch dieser zuletzt genannte Umstand ist offenbar ein großer Nachteil der Gasmaschine, der um so schwerer ins Gewicht fällt, als es aus früher (S. 84) angegebenen Gründen wirtschaftlich unvorteilhaft ist, eine Gasmaschine längere Zeit hindurch mit wesentlich geringerer Leistung arbeiten zu lassen, als ihrer Nennleistung entspricht. Eine Gasmaschine wird also z. B. überall da nicht zur Anwendung gelangen können, wo die Maschine imstande sein soll, gelegentlich einmal bedeutend mehr Arbeit abzugeben, als ihrer Nennleistung entspricht, eine Forderung, die in sehr vielen Fällen an eine Kraftmaschine gestellt wird.



## Sachregister.

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <p>Abreißzündung 76<br/>         absoluter Nullpunkt 19<br/>         absolute Temperatur 19<br/>         Adiabate 23<br/>         Äquivalent 16<br/>         Anlassen der Dieselmä-<br/>         schinen 111<br/>         — der Gasmaschinen<br/>         85, 115<br/>         — der Petroleummaschi-<br/>         nen 100<br/>         — der Spiritusmaschi-<br/>         nen 104<br/>         Anlaßgefäß (Diesel) 111<br/>         Anlaßventil (Diesel) 111<br/>         Anlaßvorrichtungen 87<br/>         Ansaugen 61<br/>         Ansaugtopf 89<br/>         Arbeit 2<br/>         Atmosphäre 10<br/>         atmosphärische Gas-<br/>         maschine 43, 55<br/>         Aufbau der Gasmaschi-<br/>         nen 68<br/>         Ausdehnung der Gase 19<br/>         Ausführungsbeispiel 84<br/>         Auslaßventil 72<br/>         —steuerung 79<br/>         Auspuff 65<br/>         —topf 90<br/>         Ausseher 78</p> <p><b>Benzin</b> 91, 93<br/>         —maschine 95<br/> <b>Benzol</b> 91, 94<br/>         —maschine 95<br/>         Betriebskosten 41</p> | <p>Boyles Gesetz 20, 23<br/>         Brennstoffe, flüssige 91,<br/>         113<br/>         —kosten 38<br/>         —pumpe 101, 110</p> <p><b>Clerk</b> 49</p> <p><b>Dampfmaschine</b> 28<br/>         Deuzer Gasmotorenfa-<br/>         brik 46<br/>         Diagramm 10, 13, 15<br/>         — Diesel 107, 108<br/>         — Lenoir 15<br/>         — Otto &amp; Langen 45<br/>         — Viertakt 59<br/>         — Zweitakt 67<br/>         Diesel 106<br/>         Diffusion 48<br/>         doppelwirkender Vier-<br/>         takt 66<br/>         Dowson 51<br/>         Druckgas 53<br/>         Druckregler 87<br/>         Durchgehen von Maschi-<br/>         nen 78</p> <p><b>Einblasegefäß</b> 111<br/>         —luft 111<br/>         —ventil (Diesel) 107<br/>         Energie, Satz von der<br/>         Erhaltung der 15<br/>         Ergin 94<br/>         Ericson 32<br/>         Explosion des Schwung-<br/>         rades 78<br/>         — von Gasgemischen 49</p> | <p>Flüssige Brennstoffe 91<br/>         Frühzündung 64</p> <p><b>Gasdruckregler</b> 88<br/>         —foks 47<br/>         —konstante 23<br/>         —öl 93<br/>         —uhr 87<br/>         —ventil 72<br/>         Gay-Lussacs Gesetz 20,<br/>         gekrüpfte Welle 68 [23<br/>         Gemischeinlaßventil 72<br/>         Geradführung des Kol-<br/>         bens 70<br/>         Geruch bei Petroleum-<br/>         maschinen 103<br/>         Geschichte der Dampf-<br/>         maschine 28<br/>         — der Gasmaschine 41<br/>         Geschwindigkeit des Kol-<br/>         bens 56<br/>         Gichtgase 54<br/>         Glühhaube 102<br/>         Glühkopfmaschine 101<br/>         Glührohr 75<br/>         Gummibeutel 88</p> <p><b>Hauptsatz, erster</b> 16, 25<br/>         — zweiter 25<br/>         Heißluftmaschinen 32<br/>         Heizwert 29<br/>         — Benzin 93<br/>         — Benzol 94<br/>         — Dowsongas 52<br/>         — Gichtgas 64<br/>         — Petroleumdestillate<br/>         93</p> |
|--|---|---|

- Schweröle 95
  - Spiritus 95
  - Steinkohle 29
- Indicator** 9
- neuere, — en 11
  - indizierte Leistung 10
  - Pferdestärke 8
- Zugangsehen** siehe Anlassen
- Isotherme** 22
- isothermische Zustandsänderung** 21
- Kleinkraftmaschinen** 31, 37
- Körtingmaschine** 67
- zerstäuber 98
- Koks** 47
- Kolbengeschwindigkeit** 56
- Koksöfengase** 54
- Kraft** 1
- erzeugung 16
  - gas 51
  - maschinen 3
- Kreisprozeß** 23
- Kühlung der Zylinder** 50, 70, 103
- Kühlwasserbedarf** 70
- Laderraum** 62
- Lampenpetroleum** 91, 93
- Langen** 43
- Lebon** 42
- Leergangsgasverbrauch**
- Leistung** 4 [83]
- berechnung 10, 14
- Lenoir** 34, 42, 56
- Leuchtgas** 47
- liegende Maschinen** 69
- Luftansaugeventil** 102
- Luftkühlung bei Zylindern** 70
- Luftpumpe (Diesel)** 110
- magnetelektrische Zündung** 76
- Mariotte** 21
- Masut** 113
- Mayer, Robert** 15
- mechanischer Wirkungsgrad** 9
- Meterkilogramm** 3
- Mischungsverhältnis** 49
- Mischventil** 74
- mittlere Spannung** 14
- Motorspiritus** 95
- Muskelkraftmaschinen** 4
- Nennleistung** 83
- Nocken** 79
- Nullpunkt, absoluter** 19
- Nußpferdestärke** 7
- Ochelhäuser** 67
- Otto und Langen** 43, 55
- Paraffinöl** 91, 113
- Petroleum** 93
- entfehlung 92
  - maschinen 99
- Pferdekraft** 6 ff.
- Planimeter** 14
- Pumpen bei Zweitaktmaschinen** 67
- Qualitätsregulierung** 80
- Quantitätsregulierung** 81
- Reduziervorrichtung** 13
- Regler für Gasdruck** 88
- Regulirnadel** 97
- Regulierung** 77, 116
- bei Diesel 108
- Rippenkühlung** 70
- Rohpetroleum** 92
- Sauggas** 52
- Schleierbilder** 98
- Schmierung des Kolbens** 103
- Schweröle** 95
- Schwimmervergaser** 97
- Schwurgradexplosion** 98
- Strubber** 54
- Solaröl** 91, 113
- Spannung, mittlere** 14
- Spiritus** 94
- maschine 104
- Spritzvergaser** 97
- stehende Maschine** 69
- Steuerung** 72
- Steuerwelle** 72
- Stirnkurbel** 68
- Stundenpferdestärke** 27, 29
- Teer** 95, 113
- öl 91, 95, 113
- Temperatur, absolute** 19
- thermischer Wirkungsgrad** 26
- Totpunkt des Kolbens** 59
- Überdruckatmosphäre** 10
- Überlastung der Gasmaschine** 116
- Umsteuerung bei Gasmaschinen** 116
- Verdampfungskühler** 71
- Verdichtung bei Benzinmaschinen** 105
- — Dieselmotoren 106
  - — Gichtgasmaschinen 64
  - — Leuchtgasmaschinen 64
  - — Petroleummaschinen 105
  - — Spiritusmaschinen 105
  - des Gasgemisches 62
- Vergaser** 96, 97
- Verpuffung** 49, 65
- Versehmung bei Petroleummaschinen** 103

- Viertakt 46, 57, 60  
 Vorzüge der Gasmaschinen 36
- Wärmeäquivalent** 16  
 — ausnützung bei Dampfmaschinen 30, 36  
 — — — Gasmaschinen 35, 36  
 — kraftmaschinen 4  
 — losigkeit 19  
 — verbrauch bei Kraftmaschinen 36  
 — wert der Arbeit 16
- Wasserkraftmaschinen 4,  
 Watt 9, 28 [18  
 Welle, gekröpfte 68  
 Windkraftmaschinen 4  
 Wirkungsgrad, mechanischer 9  
 —, thermischer 26  
 —, wirtschaftlicher 27  
 — von Dampfmaschinen 29, 30  
 — — Gasmaschinen 50  
 — Verschlechterung bei abnehmender Leistung 82, 109
- Zerstäuberdrüse 97  
 Zerstäuber von Körting 98  
 — ventil bei Dieselmotoren 110  
 Zubehörteile zur Gasmaschine 87  
 Zündung 65, 75  
 — bei Diesel 108  
 Zündflamme 44  
 Zustandsänderung 20 ff.  
 Zweitakt 59, 66, 100, 102

# Aus Natur und Geisteswelt

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand geb. M. 1.25

Von vorliegendem Werke erschien vom gleichen Verfasser ein 2. Teil:

## Die neueren Wärmekraftmaschinen

II: Gasmotoren, Gas- und Dampfturbinen.

3. Auflage. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)

Im ersten Teile des Buches wird die Erzeugung von Kraftgas besprochen, insbesondere die aus sogenannten minderwertigen Brennstoffen, die heute in immer umfangreicherem Maße zur Kräfteerzeugung herangezogen werden. Bei der Darstellung der heute üblichen Großgasmotoren wird auf die neueste Entwicklung der Dieselmotoren als Großgasmotoren insbesondere für Schiffszwecke Rücksicht genommen. Der zweite Teil behandelt in einfacher und leichtverständlicher Darstellung die Dampfturbinen in ihren verschiedenen Gestaltungen und Verwendungsarten, das Schlusskapitel die neueste Wärmekraftmaschine, die Gasturbine.

„... In anregender und leicht verständlicher Form sind für die einzelnen Ausführungen moderner Wärmekraftmaschinen die leitenden Gedanken gegeben. Allen denen, welchen daran gelegen ist, schnell und gut in das betreffende Gebiet eingeführt zu werden, kann die Lektüre dieses Bändchens warm empfohlen werden. Die Illustration und äußere Ausstattung des kleinen Buches ist vorzüglich.“  
(Die Umschau).

==== Ferner erschienen von Geh. Bergrat Prof. Dr. R. Vater ====

## Die Dampfmaschine. I. Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. 3. Auflage. Mit 45 Abb. (Bd. 393.)

„... So wird das Buch für alle die von großem Interesse sein, die ohne besondere Vorkenntnisse in der Mechanik und Wärmelehre sich über die Theorie des Dampfes und der Dampfmaschine orientieren wollen. Außer den nicht technisch vorgebildeten Besitzern von Dampfmaschinen wird auch den angehenden Technikern und Ingenieuren vor ihrem eigentlichen Eintritt in das Fachstudium das kleine Büchlein eine willkommene Gabe sein, indem sie vorläufig genügende Aufklärung über das ineinandergreifen der verschiedenen Vorgänge bei der Arbeitserzeugung in der Dampfmaschine finden.“

(Archiv für Eisenbahnwesen.)

## Die Dampfmaschine. II. Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. Mit 95 Abb. und 1 Tafel. (Bd. 394.)

An der Hand einer großen Zahl sorgfältigst ausgewählter Abbildungen werden nach einer kurzen Einleitung, welche die Wirkungsweise des Dampfes im Zylinder der Maschine kurz ins Gedächtnis zurückerst, zunächst die wesentlichsten Bauarten der Kolbendampfmaschine im allgemeinen besprochen. Es folgt dann eine genauere Behandlung der wichtigsten Schieber- und Ventilsteuerungen sowie des Schwedes und der haultichen Gestaltung von Kondensator-Rückkühlwerken, Schwungrädern und Regulatoren. Im II. Teile des Buches zeigt der Verfasser, welche mannigfaltige Gestaltung die Kolbendampfmaschine hat und wie sie als Betriebsmaschine, Lokomobile, Lokomotive, Schiffsmaschine, Fördermaschine, Walzenzugmaschine usw. jede andere Kraftmaschine an vielfältiger Verwendbarkeit und unbedingter Betriebssicherheit übertrifft.

## Maschinen-Elemente. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)

Gibt an der Hand zahlreicher Abbildungen eine für jeden verständliche Übersicht über die Fülle der einzelnen ineinandergreifenden Teile, aus denen die Maschinen zusammengesetzt sind, und ihre Wirkungsweise: Die Bindungen (Keile, Niete, Schrauben), die drehenden Bewegungen dienenden Teile ( Zapfen, Achsen, Welle, Kuppelungen und Lager, Reibungsräder und Zahnräder), die verschiedenen Übertragungsgetriebe (Zylinder, Kolben, Kurbeln), endlich die verschiedenen Arten der Röhren und Ventile.

## Hebezeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)

Will an der Hand zahlreicher einfacher Skizzen das Verständnis für die Wirkung der Hebezeuge einem weiten Kreise zugänglich machen. So werden die Hebevorrichtungen fester, flüssiger und luftförmiger Körper nach dem neuesten Stand der Technik einer ausführlichen Betrachtung unterzogen, wobei wichtigere Abschnitte, wie: Hebel und schiefe Ebene, Druckwasserhebevorrichtungen, Zentrifugalpumpen, Gebläse usw. besonders eingehend behandelt sind.

# Aus Natur und Geisteswelt

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand geb. M. 1.25

**Die Wasserkraftmaschinen** und die Ausnützung der Wasserkräfte, Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Jhering. Mit 73 Fig. 2. Aufl. (Bd. 228.)

Führt den Leser vom primitiven Mährad bis zu den großartigen Anlagen, mit denen die moderne Technik die Kraft des Wassers zu den gewaltigsten Leistungen auszunützen versteht, und vermittelt an besonders typischen konkreten Beispielen modernster Anlagen einen klaren Einblick in Bau, Wirkungsweise und Wichtigkeit dieser modernen Betriebe.

**Landwirtschaftliche Maschinentechnik.** Von Prof. Dr. Gust. Fischer. Mit 62 Abb. (Bd. 316.)

Bietet einen allgemeinverständlichen Überblick über die verschiedenen Arten der landwirtschaftlichen Maschinen und ihre modernsten Vervollkommnungen, indem es, nach einem Überblick über die Bedeutung des Maschinenbetriebes in der Landwirtschaft, zunächst die landwirtschaftlichen Kraftmaschinen und dann die verschiedenen Arten der Arbeitsmaschinen schildert.

**Industrielle Feuerungsanlagen und Dampfkessel.** Von Ingenieur J. E. Mayer. (Bd. 348.)

Ausgehend vom Brennstoff und dem Gebrauchszweck werden die verschiedenen Systeme und ihre Konstruktion, die Einrichtung der Gesamtanlage sowie die Kontrolle ihrer Wirtschaftlichkeit behandelt.

**Das Eisenbahnwesen.** Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor E. Biedermann. 2. Auflage. Mit zahlr. Abb. (Bd. 144.)

„Sein Verfasser, der bereits auf eine reiche, insonderheit großstädtische Praxis im Staatseisenbahnbau und Betrieb zurückblickt, hat sich hier die Aufgabe gestellt, den Nichtfachmann mit dem einen Hauptzweig der technischen Kultur der Gegenwart, dem Eisenbahnwesen, in seinen Grundzügen bekannt zu machen. Mit weiser Beschränkung hat er aus der gewaltigen Stofffülle die Gebiete ausgewählt, die allgemeines Interesse beanspruchen dürfen. Das mit großer Sachkenntnis verfaßte Büchlein, dem zur Erhöhung der Anschaulichkeit zahlreiche Abbildungen, Skizzen und Tabellen beigegeben sind, dürfte bei allen, die sich für den Eisenbahnbau interessieren, eine sehr heifällige Aufnahme finden.“  
(Anzeiger für Industrie und Technik.)

**Klein- und Straßenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. Oberlehrer A. Liebmann. Mit 82 Abb. (Bd. 322.)

„Durch eine populäre, leicht faßliche Darstellungsweise bildet das Buch mit seinen Abbildungen eine unterhaltende und nützliche Lektüre für den Laien; andererseits ist es durch seine Vollständigkeit — besonders in Beziehung auf neuere Fortschritte — auch für den Fachmann von hohem Wert.“  
(Magdeburgische Zeitung.)

**Das Automobil.** Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ingenieur Karl Blau. 2. Auflage. Mit 83 Abb. (Bd. 166.)

„Dieses praktische, inhaltsreiche Büchlein können wir sowohl den Besitzern, wie Kraftwagenführern bestens empfehlen.“  
(Der Kraftwagen.)

**Die Luftfahrt.** Ihre wissenschaftlichen Grundlagen und technische Entwicklung. Von Dr. R. Nimführ. 3. Aufl. von Dr. S. Huth. Mit 53 Abb. (Bd. 300.)

„Der Verfasser hat verstanden, einen erschöpfenden Überblick über die physikalischen und die meteorologischen Grundlagen zu geben, auf denen die Bewältigung des Luftmeeres beruht, und die Richtlinien scharf zu kennzeichnen, die bisher für den Bau von Luftschiffen und Flugzeugen maßgebend gewesen sind und auch für den weiteren Ausbau bestehen bleiben werden.“  
(Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.)

## Grundlagen der Theorie und des Baues der Wärmekraftmaschinen.

Von Dr. Alfred Musil, Prof. an der k. k. Deutschen Techn. Hochschule zu Brünn. Zugleich autor., erw. deutsche Ausgabe des Werkes „The Steam-Engine and other Heat-Engines“ von J. A. Ewing, Professor an der University Cambridge. Mit 302 Figuren im Text. [X u. 794 S.] gr. 8. 1902. In Leinwand 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. Insbesondere dürften dieses Buch solche Physiker und Mathematiker begrüßen, welche den Anwendungen mit Rücksicht auf spätere Lehrtätigkeit an technischen Anstalten ihre Aufmerksamkeit zuwenden.“ (Archiv f. Math. u. Physik.)

## Bau der Dampfturbinen.

Von Dr. Alfred Musil, Professor an der k. k. Deutschen Techn. Hochschule zu Brünn. Mit zahlreichen Abbildungen. [VI u. 233 S.] gr. 8. 1904. In Leinwand geb. M 8.—

„Unter den zahlreichen neueren Publikationen über Dampfturbinen hat bisher ein Werk gefehlt, welches es ermöglichte, sich auf dem Gebiete des Dampfturbinenbaues einigermaßen rasch orientieren zu können. Diese Lücke füllt das vorliegende Buch in recht gut gelungener Weise aus. Der Verfasser behandelt in acht Abschnitten die Dampfturbinensysteme im allgemeinen, die Vorgänge in den Dampfdüsen sowie die konstruktiven Ausführungen der Laval-, Parsons-, Zoelly-, Riedler-Stumpf-, Curtis- und Rateau-Turbinen. Das 233 Seiten starke Buch ist durch 102 sehr gute und deutliche Figuren illustriert und von der Verlagsbuchhandlung recht gefällig ausgestattet. Es sei hiermit allen Fachgenossen wärmstens empfohlen.“ (Zeitschrift d. Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins.)

## Die Dampfmaschine (einschließl. der Dampfturbine) und Gas- und Ölmaschinen.

Von Dr. John Perry, Professor der Mechanik und Mathematik am Royal College of Science in London. Autorisierte, erweiterte deutsche Bearbeitung von Dr. Ing. Hermann Meuth, Bauinspektor, Mitglied der Kgl. Württ. Zentralstelle für Gewerbe und Handel in Stuttgart. Mit 350 Figuren im Text und 1 Wärmetafel. [XII u. 708 S.] gr. 8. 1909. In Leinwand geb. M 22.—

„Dieses Buch des bekannten englischen Verfassers unterscheidet sich in der Behandlung des Stoffes wesentlich von den vorhandenen deutschen Büchern des gleichen Fachgebietes. Sein Zweck ist rein didaktischer Natur, und zwar verfolgt der Verfasser durch das ganze Buch hindurch das Ziel, den Studierenden zu einer richtigen Anwendung der physikalischen und mechanischen Grundlagen auf die Theorie der Wärmekraftmaschinen anzuleiten. Die Bearbeitung zahlreicher Aufgaben und Versuchsergebnisse sollen den Studierenden zu richtigen zahlenmäßigen Vorstellungen und zum Verständnis der gesetzmäßigen Beziehungen führen. Eine große Zahl von Figuren illustrieren in besonders anschaulichen Darstellungen die Bauformen und Einzelheiten der Maschinen.“

(Zeitschrift d. Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins.)

## Hervorragende Leistungen der Technik.

Von Dr. K. Schreiber, Professor an der Technischen Hochschule in Aachen. I. Teil. Mit Abbildungen im Text. [IV u. 216 S.] 1913. Geb. M 3.—. [II. Teil in Vorbereitung.]

Den jungen Lesern, für die das Buch berechnet ist, werden diese Darstellungen, die ihrem Erfindungs- und Konstruktionstrieb im weitesten Maße Rechnung tragen, ganz besonders willkommen sein. Die Kaiser Wilhelm-Brücke bei Münstgen gibt Anlaß zur Darstellung der Grundgesetze der graphischen Statik. Die Beschreibung der Urfttalsperre wird eingeleitet durch die Darlegung der Grundbedingungen des Turbinenbaues. Die technischen Anwendungen der Wärmelehre werden so weit gefördert, daß man den Bau und die Arbeitsweise einer großen Schnellzugslokomotive von Richard Hartmann (Chemnitz) und des Maybachmotors der Luftschiffe verstehen kann. Den Schluß bilden die Zentralheizungen, als deren großartigste, z. Zt. überhaupt bestehende, das große Dresdner Fernheizwerk beschrieben wird. Die wissenschaftlichen Grundlagen, die der Ingenieur zur Herstellung seiner Werke benutzt hat, sind in möglichst leichtverständlicher Form dargestellt.

**Lehrbuch der Physik.** Zum Gebrauch beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium. Von E. Grimsehl. 3., vermehrte u. verbess. Auflage. Mit ca. 1296 Textfiguren, 2 farb. Tafeln und einem Anhang, enthaltend Tabellen physikalischer Konstanten u. Zahlentabellen. gr. 8. 1914. Geh. ca. *M* 15.—, in Leinw. geb. ca. *M* 16.—

Fesselnde Darstellung, einfache klare Sprache, die das Eindringen selbst in schwierige Gebiete erleichtert, sind neben einem fast überreichen Anschauungsmaterial die Vorzüge dieses neuen groß angelegten Lehrbuches der Physik. In allen Kapiteln wird der physikalische Lehrstoff wissenschaftlich streng behandelt, so daß der Lernende von vornherein an präzises Denken und exaktes Arbeiten gewöhnt wird. Überall bietet das Experiment die Grundlage, von der aus der Verfasser mit großer Ausführlichkeit auf alle Tatsachen seines Gebietes eingeht. Stets findet man scharf herausgearbeitet, wo die Hypothese beginnt und wie sich auf ihr die Theorie aufbaut. Sorgfältig ausgearbeitete Tabellen beschließen das Werk, das nicht nur den Lehrern und Studierenden, sondern auch dem physikalisch interessierten Laien zu empfehlen ist.

**Das Prinzip der Erhaltung der Energie.** Von Max Planck. Von der Philosophischen Fakultät Göttingen preisgekrönt. 3. Aufl. 8. 1913. In Leinw. geb. *M* 6.—

Das Werk behandelt die Lehre von der Erhaltung der Energie in drei Abschnitten. Im ersten wird die historische Entwicklung des Prinzips dargelegt von seinen Uranfängen an, die sich in der Erkenntnis der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile dokumentieren, bis zu der allgemeinen Durchführung, die in den Arbeiten von Mayer, Joule, Helmholtz, Clausius, Thomson usw. enthalten ist. Der zweite Abschnitt bringt die allgemeine Definition des Energiebegriffes, die Formulierung des Erhaltungsprinzips zum Zwecke seiner verschiedenartigen Anwendungen, und endlich eine Übersicht und Kritik der Beweise, die man im Laufe der Zeiten zu seiner Begründung beigebracht hat. Im dritten Abschnitt werden die gewonnenen Sätze benutzt, um zu zeigen, wie man durch die Anwendung des Prinzips der Erhaltung der Energie, von den Tatsachen der Erfahrung ausgehend, unter grundsätzlicher Fernhaltung aller Hypothesen über das Wesen der Naturkräfte, zu einer einheitlichen Übersicht über die Gesetze der gesamten Erscheinungswelt gelangen kann. In den vielen Jahren, welche seit dem Erscheinen der ersten Auflage des Buches verflossen sind, haben sich im Reiche der Physik noch verschiedene Umwälzungen vollzogen. Aber jede neue Entdeckung und jede neue Begriffsbildung hat immer nur dazu beigetragen, das Energieprinzip in seiner zentralen Stellung zu befestigen. Durch diesen Umstand ist es möglich geworden, die in der neuen Auflage vorzunehmenden Verbesserungen auf einige geringe Änderungen und Zusätze zu beschränken.

**Die technische Mechanik.** Elementares Lehrbuch für mittlere maschinentechnische Fachschulen und Hilfsbuch für Studierende höherer technischer Lehranstalten. Von P. Stephan. 2 Teile. Mit zahlreichen Figuren. gr. 8. In Leinw. geb. je *M* 7.—. I. Teil: Mechanik starrer Körper. 1904. II. Teil: Festigkeitslehre und Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper. 1906.

Das Werk versucht, die technische Mechanik mit Hilfe elementarer Rechnungen in möglichst knapper Form darzustellen. Um die Tragweite und die Anwendung der einzelnen Sätze zu zeigen, wurde ihnen eine große Anzahl ausführlich durchgerechneter Beispiele beigegeben. Diese Beispiele und einige wenige kurze Teile, die in der Fachschule bei der ersten Durcharbeitung des Ganzen überschlagen werden dürften, machen das Buch auch als Übungsbuch und Repetitorium für Studierende technischer Hochschulen brauchbar; es enthält etwa das Minimum dessen, was ein Student im Vorexamen wissen muß, und annähernd das Maximum dessen, was in einer höheren Maschinenbauschule mit Erfolg durchgearbeitet werden kann. In dem zweiten Teile wird die Mechanik elastischer fester Körper in der für den Techniker besonders wichtigen Form der Festigkeitslehre, darauf die Mechanik flüssiger Körper, soweit sie für den Maschinentechniker von Bedeutung ist, und schließlich die der gasförmigen entwickelt.

# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher  
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich. — Werke, die mehrere Bände umfassen, sind auch in einem Band gebunden vorrätig.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände innerhalb der Wissenschaften  
alphabetisch geordnet.

**Aus Theologie u. Philosophie, Pädagogik u. Bildungswesen erschienen:**

Amerikanisches Bildungswesen siehe Techn.  
Hochschulen, Universitäten, Volksschule.

Ästhetik. Von Prof. Dr. R. Hamann.  
(Bd. 345.)

Aufgaben und Ziele des Menschenlebens.  
Von Dr. F. Unold. 3. Aufl. (Bd. 12.)  
— siehe auch Ethik.

Bildungswesen, Das deutsche, in seiner ge-  
schichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof.  
Dr. Fr. Paulsen. 3. Aufl. Von Prof.  
Dr. W. Münch. Mit Bildn. Paulsens.  
(Bd. 100.)

Buddhas Leben und Lehre. Von weil.  
Prof. Dr. R. Fischer. 2. Aufl. von Prof.  
Dr. S. Lüders. Mit 1 Taf. (Bd. 109.)

Calvin, Johann. Von Pfarrer Dr. G. So-  
deur. Mit Bildn. (Bd. 247.)

Christentum. Aus der Werdezeit des Chr.  
Studien und Charakteristiken. Von Prof.  
Dr. F. Geffken. 2. Aufl. (Bd. 54.)

Christentum und Weltgeschichte. Von Prof.  
D. Dr. R. Sell. 2. Bde. (Bd. 297, 298.)  
— siehe auch Jesus, Mystik im Christen-  
tum.

Deutsches Ringen nach Kraft und Schön-  
heit. Aus den literar. Zeugn. eines Jahrh.  
gesammelt. Von Turninspektor R. Möl-  
ler. 2 Bde. Bd. II in Vorb. (Bd. 188, 189.)

Einführung in die Philosophie, Theologie  
siehe Philosophie, Theologie.

Entstehung der Welt und der Erde. Von  
Prof. Dr. B. Weinstein. 2. Aufl.  
(Bd. 223.)

Erziehung, Moderne, in Haus und Schule.  
Von J. Lews. 2. Aufl. (Bd. 159.)  
— siehe auch Großstadtpädagogik und  
Schulkämpfe der Gegenwart.

Ethik. Prinzipien der G. Von E. Went-  
scher. (Bd. 397.)

— siehe auch Aufgaben und Ziele des  
Menschenlebens, sittliche Lebensanschau-  
ungen, Willensfreiheit.

Fortbildungsschulwesen. Das deutsche. Von  
Dir. Dr. F. Schilling. (Bd. 256.)

Fräbel, Friedrich. Leben und Wirken. Von  
A. v. Portugall. Mit 5 Taf. (Bd. 82.)

Großstadtpädagogik. Von J. Lews.  
(Bd. 327.)

— siehe auch Erziehung, Moderne, und  
Schulkämpfe der Gegenwart.

Heidentum siehe Mystik.

Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor  
Dr. O. Flügel. Mit Bildn. (Bd. 164.)

Hilfsschulwesen. Von Rektor Dr. B. Maen-  
nel. (Bd. 73.)

Hochschulen siehe Techn. Hochschulen und  
Universitäten.

Hypnotismus und Suggestion. Von Dr.  
E. Trömmner. 2. Aufl. (Bd. 199.)

Jesuiten, Die. Eine histor. Skizze. Von  
Prof. D. S. Boehmer. 3. Aufl. (Bd. 49.)

Jesus und seine Zeitgenossen. Geschicht-  
liches und Erbauliches. Von Pastor E.  
Bonhoff. (Bd. 89.)

— Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu.  
Von Pfarrer D. Dr. B. Mehlhorn.  
2. Aufl. (Bd. 137.)

— Die Gleichnisse Jesu. Jugl. Anleitung  
zu quellenmäßigem Verständnis der  
Evangelien. Von Prof. D. Dr. Weinel.  
3. Aufl. (Bd. 46.)

Israelit. Religion. Die Grundzüge der  
israel. Religionsgeschichte. F. weil. Prof.  
Dr. Fr. Giesebrecht. 2. Aufl. (Bd. 52.)

Jugendfürsorge. Von Waisenhausdirektor  
Dr. F. Petersen. 2 Bde.  
(Bd. 161, 162.)

Kant, Immanuel. Darstellung und Wür-  
digung. Von Prof. Dr. O. Külpe.  
3. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 146.)

Knabenhandarbeit, Die, in der heutigen  
Erziehung. Von Sem.-Dir. Dr. A. Bapst.  
Mit 21 Abb. u. Titelbild. (Bd. 140.)

Lehrerbildung siehe Volksschule und Leh-  
rerbildung der Ver. Staaten.

Luther im Lichte der neueren Forschung.  
Ein krit. Bericht. Von Prof. D. S. Boeh-  
mer. 3. Aufl. Mit 2 Bildn. (Bd. 113.)

Mädchenchule, Die höhere, in Deutsch-  
land. Von Oberlehrerin M. Martin.  
(Bd. 65.)

- Mechanik des Geisteslebens.** Von Prof. Dr. M. Berworn. 3. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 200.)  
 — siehe auch Psychologie.
- Mission. Die evangelische.** Von Pastor C. Faudert. (Bd. 406.)
- Mittelschule** siehe Volks- u. Mittelschule.
- Mythil im Heidentum und Christentum.** Von Prof. Dr. E. v. Lehmann. (Bd. 217.)
- Mythologie, Germanische.** Von Prof. Dr. F. von Regelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)
- Pädagogik, Allgemeine.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 4. Aufl. (Bd. 33.)
- Pädagogik, Experimentelle, mit bes. Rücks. auf die Erzieh. durch die Tat.** Von Dr. W. L. Gay. 2. Aufl. Mit 2 Abb. (Bd. 224.)  
 — siehe auch Erziehung, Großstadtpädagogik u. Psychologie des Kindes.
- Palästina und seine Geschichte.** Von Prof. Dr. H. Frh. v. Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Ansichten. (Bd. 6.)
- Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden.** Von Dr. P. Thomsen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)
- Paulus, Der Apostel, u. sein Werk.** Von Prof. Dr. E. Fischer. (Bd. 309.)
- Pestalozzi. Leben und Ideen.** Von Prof. Dr. F. Ratorp. 2. Aufl. Mit Bildn. u. Brieffass. (Bd. 250.)
- Philosophie, Die. Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme.** Von Realschuldir. G. Richter. 2. Aufl. (Bd. 186.)  
 — Einführung in die Philosophie. Von Prof. Dr. R. Richter. 3. Aufl. von Dr. M. Brahn. (Bd. 155.)  
 — Führende Denker. Geschichtl. Einleitung in die Philosophie. Von Prof. Dr. F. Cohn. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)  
 — siehe auch Weltanschauung.
- Philosophie der Gegenwart, Die, in Deutschland. Charakteristik ihrer Hauptrichtungen.** Von Prof. Dr. D. Külpe. 5. Aufl. (Bd. 41.)
- Psychologie** siehe Seele des Menschen.  
 — siehe auch Mechanik des Geisteslebens.
- Psychologie des Kindes.** Von Prof. Dr. R. Gapp. 3. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 213.)  
 — siehe auch Pädagogik.
- Religion. Die Stellung der R. im Geistesleben.** Von Lic. Dr. P. Kalweit. (Bd. 225.)  
 — Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Ein geschichtl. Rückblick. Von Dr. A. Pjannkuh. 2. Aufl. (Bd. 141.)  
 — Die relig. Strömungen der Gegenwart. Von Superintend. D. A. H. Braasch. 2. Aufl. (Bd. 66.)
- Rousseau.** Von Prof. Dr. P. Hensel. 2. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 180.)
- Schopenhauer. Persönlichkeit, Lehre, Bedeutung.** Von Realschuldir. G. Richter. 2. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 81.)
- Schule** siehe Fortbildungsschulen, Hörschulwesen, Hochschule, Mädchenschule, Mittelschule, Volksschule und die folgenden Bände.
- Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)
- Schulkämpfe der Gegenwart.** Von F. Lews. 2. Aufl. (Bd. 111.)  
 — siehe auch Erziehung, Moderne, und Großstadtpädagogik.
- Schulwesen. Geschichte des deutschen Sch.** Von Oberrealschuldir. Dr. R. Knabe. (Bd. 85.)
- Seele des Menschen, Die.** Von Prof. Dr. F. Rehmke. 4. Aufl. (Bd. 36.)  
 — siehe auch Psychologie.
- Sittliche Lebensanschauungen der Gegenwart.** Von weis. Prof. Dr. D. Kirn. 2. Aufl. (Bd. 177.)  
 — siehe auch Ethik.
- Spencer, Herbert.** Von Dr. R. Schwarze. Mit Bildn. (Bd. 245.)
- Student, Der Leipziger, von 1409 bis 1909.** Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
- Technische Hochschulen in Nordamerika.** Von Prof. C. Müller. Mit zahlr. Abb., Karte u. Lageplan. (Bd. 190.)
- Testament, Neues. Der Text des N. T. nach seiner geschichtl. Entwicklung.** Von Div.-Pfarrer A. Pott. Mit 8 Taf. (Bd. 134.)  
 — siehe auch Jesus.
- Theologie. Einführung in die Theologie.** Von Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)
- Über Universitäten und Universitätsstudium.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. (Bd. 411.)
- Universität, Die amerikanische.** Von Ph. D. E. D. Perry. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)  
 — siehe auch Student.
- Unterrichtswesen. Das deutsche, der Gegenwart.** Von Oberrealschuldir. Dr. R. Knabe. (Bd. 299.)
- Volkswbildungswesen. Das moderne. Bücher- und Leshallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern seit der Mitte des 19. Jahrhunderts.** Von Stadtbibliothek Dr. G. Frh. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)
- Volkss- und Mittelschule, Die preussische, Entwicklung und Ziele.** Von Geh. Reg.-u. Schulrat Dr. Sasse. (Bd. 432.)
- Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten.** Von Dir. Dr. F. Kuhpers. Mit 48 Abb. u. Titelbild. (Bd. 150.)

**Weltanschauung, Griechische.** Von Privat-  
 doz. Dr. M. W und t. (Bd. 329.)  
**Weltanschauungen, Die, der großen Philo-  
 sophen der Neuzeit.** Von weis. Prof.  
 Dr. L. B u s s e. 5. Aufl., herausg. von  
 Prof. Dr. R. F a l d e n b e r g. (Bd. 56.)  
 — siehe auch Philosophie.

**Willensfreiheit. Das Problem der W.** Von  
 Prof. Dr. G. F. L i p p s. (Bd. 383.)  
 — siehe auch Ethik.

**Zeichenkunst. Der Weg zur Z.** Von Dr.  
 E. W e b e r. Mit Abb. (Bd. 430.)

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

## Aus Sprachkunde, Literaturgeschichte und Kunst erschienen:

**Architektur** siehe Baukunst und Renais-  
 sancearchitektur.

**Ästhetik.** Von Prof. Dr. R. S a m a n n.  
 (Bd. 345.)

**Bau und Leben der bildenden Kunst.** Von  
 Dir. Prof. Dr. T. h. V o l b e h r. 2. Aufl.  
 Mit 44 Abb. (Bd. 68.)

**Baukunde** siehe Abtlg. Technil.

**Baukunst. Deutsche B. im Mittelalter.** Von  
 Prof. Dr. A. M a t t h a e i. 3. Aufl. Mit  
 29 Abb. (Bd. 8.)

— **Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter  
 bis z. Ausg. des 18. Jahrh.** Von Prof.  
 Dr. A. M a t t h a e i. Mit 62 Abb. und  
 3 Tafeln. (Bd. 326.)

— **Deutsche Baukunst im 19. Jahrh.** Von  
 Prof. Dr. A. M a t t h a e i. Mit Abb.  
 (Bd. 453.)

— **Kultur des Wohnhauses, Die.** Von  
 Reg.-Baumeister a. D. G. L a n g e n.  
 Mit Abb. (Bd. 434.)

**Beethoven** siehe Haydn.

**Björnson** siehe Ibsen.

**Decorative Kunst des Altertums.** Von Dr.  
 Fr. P o u l s e n. Mit Abb. (Bd. 454.)

**Drama, Das.** Von Dr. B. B u s s e. Mit  
 Abb. 2 Bde.

Bd. I: Von der Antike zum franzöf. Klas-  
 sizismus. (Bd. 287.)

Bd. II: Von Versailles bis Weimar.  
 (Bd. 288.)

— siehe auch Shakespeare, Lessing, Schil-  
 ler und Theater.

**Drama, Das deutsche, des 19. Jahrh.** In  
 f. Entwickl. dargef. von Prof. Dr. G.  
 W i t k o w s k i. 4. Aufl. Mit Bildn. Heb-  
 bels. (Bd. 51.)

— siehe auch Hebbel, Hauptmann.

**Dürer, Albrecht.** Von Dr. R. W u s t m a n n.  
 Mit 33 Abb. (Bd. 97.)

**Französische Roman, Der, und die Ro-  
 velle.** Von O. F l a k e. (Bd. 377.)

**Frauendichtung, Geschichte der deutschen Z.**  
 seit 1800. B. Dr. G. S p i e r o. (Bd. 300.)

**Griechische Kunst. Die Blütezeit der g. K  
 im Spiegel der Relieffarkophage.** Eine  
 Einführung in die griech. Plastik. Von  
 Dr. G. W a c h t l e r. Mit 8 Taf. u. 32  
 Abb. (Bd. 272.)

— siehe auch Decorative Kunst.

**Harmonium** siehe Tasteninstrumente.  
**Hauptmann, Gerhart.** Von Prof. Dr. G.  
 S u l g e r - G e b i n g. Mit 1 Bildn.  
 (Bd. 283.)

**Haydn, Mozart, Beethoven.** Von Prof.  
 Dr. E. K r e b s. 2. Aufl. Mit 4 Bildn.  
 (Bd. 92.)

**Hebbel, Friedrich.** Von Prof. Dr. D. W a l-  
 z e l. Mit 1 Bildn. (Bd. 408.)

**Ibsen, Björnson und ihre Zeitgenossen.**  
 Von weis. Prof. Dr. B. K a h l e. 2. Aufl.  
 von Dr. Morgenstern. Mit 7 Bildn.  
 (Bd. 193.)

**Impressionismus. Die Maler des Z.** Von  
 Prof. Dr. B. L á z a r. Mit 32 Abb. u.  
 1 farb. Tafel. (Bd. 395.)

**Klavier** siehe Tasteninstrumente.

**Kunst. Deutsche, im täglichen Leben bis  
 zum Schlusse des 18. Jahrh.** Von Prof.  
 Dr. B. S a e n d e. Mit 63 Abb.  
 (Bd. 198.)

**Kunst, Kirchliche, und Denkmalspflege.**  
 Vorträge. 2 Bde. Mit Abb. (Bd. 400/1.)

**Kunst** siehe auch Griechische, Asiatische  
 Kunst.

**Kunstpflanze in Haus und Heimat.** Von  
 Superint. R. B ü r k n e r. 2. Aufl. Mit  
 29 Abb. (Bd. 77.)

**Lessing, B. Dr. C. h. S c h r e m p f.** (Bd. 403.)

**Lyrik, Geschichte der deutschen L. seit Clau-  
 dius.** Von Dr. G. S p i e r o. (Bd. 254.)

— siehe auch Minnesang und Volkslied.

**Maler** siehe Impressionismus.

**Malerei, Die deutsche, im 19. Jahrh.** Von  
 Prof. Dr. R. S a m a n n. 2 Bände Text,  
 2 Bände Abbildgn. (Bd. 448—451.)

**Malerei, Niederländische, im 17. Jahrh.**  
 Von Dr. G. J a n k e n. Mit zahlr. Abb.  
 — siehe auch Rembrandt. (Bd. 373.)

**Michelangelo, Einführung in das Ber-  
 ständn. s. Werke.** Von Prof. Dr. E.  
 S i l d e b r a n d t. Mit 44 Abb. (Bd. 392.)

**Minnesang.** Von Dr. J. W. B r u n i e r.  
 (Bd. 404.)

**Mozart** siehe Haydn.

**Musik, Geschichte der Musik** siehe Haydn,  
 Mozart, Beethoven, Wagner.

— **Die Grundlagen der Tonkunst. Ver-  
 such e. genet. Darstellung der allgem.  
 Musiklehre.** Von Prof. Dr. G. R i e t s c h.  
 (Bd. 178.)

**Musikal. Kompositionsformen.** Von C. G. Kallenberg. 2 Bde.  
 Bd. I: Die elementaren Tonverbindungen als Grundlage der Harmonielehre. (Bd. 412.)  
 Bd. II: Kontrapunktik und Formenlehre. (Bd. 413.)

**Musikal. Romantik.** Die Blütezeit der m. K. in Deutschland. Von Dr. E. Fstel. Mit Silhouette. (Bd. 239.)

**Mythologie, Germanische.** Von Prof. Dr. F. v. Hegelein. (Bd. 95.)  
 — siehe auch Volksfage, Deutsche.  
 Novelle siehe Roman.

**Orchester.** Die Instrumente des Orch. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit 60 Abb. (Bd. 384.)  
 — Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit Partitarbeisp. u. 3 Taf. (Bd. 308.)  
 Orgel siehe Tasteninstrumente.

**Ostasiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa.** Von Dir. Prof. Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. (Bd. 87.)

**Personennamen.** Die deutschen. Von Dir. A. Bähnisch. (Bd. 296.)

**Plastik siehe Griechische Kunst.**

**Rembrandt.** Von Prof. Dr. P. Schüring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)

**Renaissancearchitektur in Italien I.** Von Dr. P. Frankl. Mit 12 Taf. u. 27 Textabb. (Bd. 381.)

**Rhetorik.** Von Dr. E. Geißler. I. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. 2. Aufl. (Bd. 455.)  
 — II. Anweisungen zur Kunst der Rede.  
 — siehe auch Sprechen.

**Roman.** Der französische Roman und die Novelle. Von D. F. Lafé. (Bd. 377.)

**Romantik, Deutsche.** Von Prof. Dr. O. Walzel. 2. Aufl. (Bd. 232.)

**Romantik** siehe auch Musikal. Romantik.

**Schiller.** Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit Bildn. 2. Aufl. (Bd. 74.)

**Shakespeare und seine Zeit.** Von Prof. Dr. E. Siever. Mit 3 Taf. u. 3 Textabb. 2. Aufl. (Bd. 185.)

**Sprachbau.** Die Haupttypen des menschlichen S. Von weil. Prof. Dr. F. R. Find. (Bd. 268.)

**Sprachstämme des Erdkreises.** Von weil. Prof. Dr. F. R. Find. (Bd. 267.)

**Sprechen.** Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. (Bd. 354.)  
 — siehe auch Rhetorik.

**Stile.** Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde.  
 Bd. I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abb. (Bd. 317.)  
 Bd. II: Von der Renaissance b. z. Gegenwart. Mit 31 Abb. (Bd. 318.)

**Tasteninstrumente.** Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der T. Von Prof. Dr. O. Bie. (Bd. 325.)

**Theater, Das.** Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altert. bis auf die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gaehebe. 2. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 230.)

**Tonkunst** siehe Musik.

**Volkslied, Das deutsche.** Über Wesen und Werden deutschen Volksliedes. Von Dr. J. W. Bruinier. 5. Aufl. (Bd. 7.)

**Volksfage, Die deutsche.** Von Dr. D. Böckel. (Bd. 262.)  
 — siehe auch Mythologie, German.

**Wagner.** Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. E. Fstel. Mit Bildn. (Bd. 330.)  
 — siehe auch Musikal. Romantik.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

## Aus Kultur, Geschichte u. Geographie, Recht u. Wirtschaft erschienen:

**Alpen, Die.** Von H. Reishauer. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 276.)

**Altertum, Das, im Leben der Gegenwart.** Von Prof. Dr. P. Cauer. (Bd. 356.)

**Amerika, Geschichte der Vereinigten Staaten von A.** Von Prof. Dr. E. Daenell. (Bd. 147.)  
 — Aus dem amerikan. Wirtschaftsleben. Von Prof. J. B. Laughlin. Mit 9 graph. Darstellungen. (Bd. 127.)  
 — siehe ferner Lehrerbildung, Volksschule, Techn. Hochschulen, Universitäten Amerikas in Abtlg. Bildungszweifen.

**Amerikaner, Die.** Von R. M. Butler. Deutsch von Prof. Dr. W. Passkowitz. (Bd. 319.)

**Angestellte** siehe Kaufmännische A.

**Antike Wirtschaftsgeschichte.** Von Dr. O. Neurath. (Bd. 258.)

**Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung.** Von Prof. Dr. v. Bwiedinek-Südenhorst. 2. Aufl. (Bd. 78.)  
 — siehe auch soziale Bewegung.

**Australien und Neuseeland.** Land, Leute und Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schächner. (Bd. 366.)

**Bauernhaus.** Kulturgeschichte des deutschen B. Von Reg.-Baumeister Chr. Rand. 2. Aufl. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)

**Bauernstand.** Geschichte des deutschen B. Von Prof. Dr. S. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.)

**Bevölkerungslehre.** Von Prof. Dr. M. Haushofer. (Bd. 50.)

- Buch.** Wie ein Buch entsteht. Von Prof. A. W. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Taf. u. 26 Abb. (Bd. 175.)
- Das Buchgewerbe und die Kultur. 6 Vorträge, gehalten i. A. des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abb. (Bd. 182.)
- siehe auch Schrift- und Buchwesen.
- Byzantinische Charakterköpfe.** Von Privatdoz. Dr. R. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)
- Charakterbilder aus deutscher Geschichte** siehe Von Luther zu Bismarck.
- Deutsches Bauernhaus** s. Bauernhaus. — Deutscher Bauernstand s. Bauernstand. — Deutsches Dorf s. Dorf. — Deutsche Einheit s. Vom Bund zum Reich. — Deutsches Frauenleben s. Frauenleben. — Deutsche Geschichte s. Geschichte. — Deutscher Handel s. Handel. — Deutsches Haus s. Haus. — Deutsche Kolonien s. Kolonien. — Deutsche Landwirtschaft s. Landwirtschaft. — Deutsche Reichsversicherung s. Reichsversicherung. — Deutsche Schifffahrt s. Schifffahrt. — Deutsches Schulwesen s. Schulwesen. — Deutsche Städte s. Städte. — Deutsche Verfassung, Verfassungsrecht s. Verfassung, Verfassungsrecht. — Deutsche Volksfeste, Volksstämme, Volkstrachten s. Volksfeste usw. — Deutsches Weidwerk s. Weidwerk. — Deutsches Wirtschaftsleben s. Wirtschaftsleben. — Deutsches Zivilprozessrecht s. Zivilprozessrecht.
- Deutschtum im Ausland, Das.** Von Prof. Dr. R. Hoeniger. (Bd. 402.)
- Dorf, Das deutsche.** Von R. Mielke. 2. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)
- Ehe und Eherecht.** Von Prof. Dr. L. Wahrmund. (Bd. 115.)
- Eisenbahnwesen, Das.** Von Eisenbahnbau-u. Betriebsinsp. a. D. Biedermann. 2. Aufl. Mit 11 Abbildn. (Bd. 144.)
- siehe auch Verkehrsentwicklung in Deutschland 1800/1900.
- Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage.** Von Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 19 Bildn. (Bd. 174.)
- Entdeckungen, Das Zeitalter der.** Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltkarte. (Bd. 26.)
- Erbrecht, Testamentserrichtung und G.** Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
- Familienforschung.** Von Dr. E. Deubrient. (Bd. 350.)
- Finanzwissenschaft.** Von Prof. Dr. S. B. Altmann. (Bd. 306.)
- Frauenarbeit.** Ein Problem des Kapitalismus. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (Bd. 106.)
- Frauenbewegung, Die moderne.** Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. R. Schirmacher. 2. Aufl. (Bd. 67.)
- Friedensbewegung, Die moderne.** Von A. S. Fried. (Bd. 157.)
- Friedrich der Große.** Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. F. H. Ritter auf. 2. Aufl. Mit 2 Bildnissen. (Bd. 246.)
- Gartenkunst, Geschichte d. G.** Von Reg.-Baumeister Chr. Rand. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
- siehe auch Abt. Naturwissensch. (Blumen u. Pflanzen.)
- Gartenstadtbewegung, Die.** Von Generalsekret. S. Kampffmeyer. Mit 45 Abb. 2. Aufl. (Bd. 239.)
- Geld, Das, und sein Gebrauch.** Von G. Maier. (Bd. 398.)
- siehe auch Münze.
- Germanische Kultur in der Urzeit.** Von Prof. Dr. G. Steinhilber. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)
- Geschichte, Deutsche** siehe Von Luther zu Bismarck, Friedrich der Große, Restauration u. Revolution, Revolution (1848), Reaktion u. neue Ara, Vom Bund zum Reich, Moltke.
- Gewerblicher Rechtsschutz in Deutschland.** Von Patentanw. B. Tolkstörfer. (Bd. 138.)
- Griechische Städte, Kulturbilder aus ar. St.** Von Oberlehrer Dr. E. Ziebarth. 2. Aufl. Mit 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)
- Handel, Geschichte des Welthandels.** Von Prof. Dr. M. G. Schmidt. 2. Aufl. (Bd. 118.)
- Geschichte des deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.)
- Handwerk, Das deutsche, in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung.** Von Dir. Dr. E. Otto. 4. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.)
- Haus, Das deutsche, und sein Hausrat.** Von Prof. Dr. R. Meringer. Mit 106 Abb. (Bd. 116.)
- Holland** siehe Städtebilder, Historische.
- Hotellwesen.** Von P. Damm-Stienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)
- Japaner, Die, in der Weltwirtschaft.** Von Prof. Dr. R. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)
- Jesuiten, Die.** Eine histor. Skizze. Von Prof. Dr. S. Boehmer. 3. Aufl. (Bd. 29.)
- Internationale Leben, Das, der Gegenwart.** Von A. S. Fried. Mit 1 Tafel. (Bd. 226.)
- Jurisprudenz im häuslichen Leben.** Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanw. P. Wienengraber. 2 Bde. (Bd. 219, 220.)
- Kaufmann, Das Recht des R.** Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 409.)
- Kaufmännische Angestellte, Das Recht der.** Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)

**Kolonien, Die deutschen.** (Land und Leute.)  
 Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit  
 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 98.)

— **Unsere Schutzgebiete** nach ihren wirt-  
 schaftl. Verhältnissen. Im Lichte der  
 Erdkunde dargestellt. Von Dr. Chr. G.  
 Barth. (Bd. 290.)

**Kolonisation, Innere.** Von A. Bren-  
 ning. (Bd. 261.)

**Konsumgenossenschaft, Die.** Von Prof. Dr.  
 F. Staudinger. (Bd. 222.)

**Krieg, Der, im Zeitalter des Verkehrs  
 und der Technik.** Von Hauptmann A.  
 Meher. Mit 3 Abb. (Bd. 271.)

— **Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert.**  
 Von Major D. v. Sothen. Mit 9 Über-  
 sichtsarten. (Bd. 59.)

— siehe auch Seefrieg.

**Landwirtschaft, Die deutsche.** Von Dr. W.  
 Claassen. Mit 15 Abb. und 1 Karte.  
 (Bd. 215.)

**Miete, Die, nach dem BGB.** Ein Hand-  
 büchlein für Juristen, Mieter und Ver-  
 mieter. Von Rechtsanw. Dr. W. Strauß.  
 (Bd. 194.)

**Mittelalterliche Kulturideale.** Von Prof.  
 Dr. B. Vedel. 2 Bde.  
 Bd. I: Heldenleben. (Bd. 292.)  
 Bd. II: Ritterromantik. (Bd. 293.)

**Mittelstandsbewegung, Die moderne.** Von  
 Dr. S. Müffelmann. (Bd. 417.)

**Moltke.** Von Kaiserl. Ottoman. Major im  
 Generalstab F. C. Endres. Mit Bildn.  
 (Bd. 415.)

**Münze, Die, als historisches Denkmal**  
 sowie ihre Bedeutung im Rechts- und  
 Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. A. Lu-  
 schin v. Ehengreuth. Mit 53 Abb.  
 (Bd. 91.)

— siehe auch Geld.

**Napoleon I.** Von Prof. Dr. Th. Bitter-  
 auf. 2. Aufl. Mit Bildn. (Bd. 195.)

**Organisation, Die wirtschaftliche.** Von Pri-  
 vatdozent Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)

**Orient, Der. Eine Länderkunde.** Von E.  
 Banje. 3 Bde.  
 Bd. I: Die Atlasländer. Marokko, Nige-  
 rien, Tunesien. Mit 15 Abb., 10 Kar-  
 tenskizzen, 3 Diagrammen u. 1 Tafel.  
 (Bd. 277.)

Bd. II: Der arabische Orient. Mit 29  
 Abb. und 7 Diagrammen. (Bd. 278.)

Bd. III: Der arische Orient. Mit 34  
 Abb., 3 Kartenskizzen und 2 Dia-  
 grammen. (Bd. 279.)

**Österreich. Geschichte der auswärtigen Po-  
 litik Österreichs im 19. Jahrhundert.** Von  
 R. Charmaß. (Bd. 374.)

**Österreich innere Geschichte von 1848 bis  
 1907.** Von R. Charmaß. 2 Bände.  
 2. Aufl.  
 Bd. I: Die Vorherrschaft der Deutschen.  
 (Bd. 242.)

Bd. II: Der Kampf d. Nationen. (Bd. 243.)

**Ostmark, Die. Eine Einführung in die  
 Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte.** Von  
 Prof. Dr. B. Mitscherlich. (Bd. 351.)

**Ostegebiet.** Von Privatdozent Dr. G.  
 Braun. (Bd. 367.)

**Palästina und seine Geschichte.** Von Prof.  
 Dr. G. Freiherr von Soden. 3. Aufl.  
 Mit 2 Karten, 1 Plan und 6 Ansichten.  
 (Bd. 6.)

**Palästina und seine Kultur in fünf Jahr-  
 tausenden.** Von Gymnasialoberlehrer Dr.  
 B. Thomßen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)

**Polarforschung. Geschichte der Entdeckungs-  
 reisen zum Nord- und Südpol von den  
 ältesten Zeiten bis zur Gegenwart.** Von  
 Prof. Dr. R. Sasser. 2. Aufl. Mit  
 6 Karten. (Bd. 38.)

**Politische Geographie.** Von Dr. E. Schö-  
 ne. (Bd. 353.)

**Politische Hauptströmungen in Europa im  
 19. Jahrhundert.** Von Prof. Dr. R. Th.  
 v. Heigel. 2. Aufl. (Bd. 129.)

**Pompeji, eine hellenistische Stadt in Ita-  
 lien.** Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn.  
 2. Aufl. Mit 62 Abb. (Bd. 114.)

**Postwesen, Das. Entwicklung und Bedeuts.**  
 Von Postrat F. Brunß. (Bd. 165.)

**Primitive. Die geistige Kultur der P.** Von  
 Prof. Dr. R. Th. Preuß. (Bd. 452.)

**Reaktion und neue Kra.** Skizzen zur Ent-  
 wicklungsgeschichte der Gegenwart. Von  
 Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl.  
 (Bd. 101.)

**Recht** siehe Eherecht, Erbrecht, Gewerbl.  
 Rechtsschutz, Jurisprudenz, Kaufmann,  
 Kaufmann. Angestellte, Urheberrecht, Ver-  
 brechen, Verfassungsrecht, Wahlrecht, Zi-  
 vilprozessrecht.

**Rechtsprobleme, Moderne.** Von Prof. Dr.  
 F. Kohler. 3. Aufl. (Bd. 128.)

**Reichsversicherung, Die. Die Kranken-, In-  
 validen-, Hinterbliebenen-, Unfall- und  
 Angestelltenversicherung nach der Reichs-  
 versicherungsordnung u. dem Versiche-  
 rungsgefes für Angestellte.** Von Landes-  
 versicherungsassessor H. Seelmann.  
 (Bd. 380.)

**Restauration und Revolution. Skizzen zur  
 Entwicklungsgeschichte der deutschen Ein-  
 heit.** Von Prof. Dr. R. Schwemer.  
 3. Aufl. (Bd. 37.)

**Revolution. Geschichte der Französischen  
 R.** Von Prof. Dr. Th. Bitterauf.  
 (Bd. 346.)

— 1848. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr.  
 D. Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)

**Rom. Das alte Rom.** Von Geh. Reg.-Rat  
 Prof. Dr. D. Richter. Mit Bildera-  
 hang u. 4 Plänen. (Bd. 386.)

— **Soziale Kämpfe im alten Rom.** Von  
 Privatdoz. Dr. L. Bloch. 3. Aufl.  
 (Bd. 22.)

— **Roms Kampf um die Welt Herrschaft.**  
 Von Prof. Dr. Romayer. (Bd. 368.)

- Schiffahrt, Deutsche, und Schiffahrtspolitil** der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Thieß. (Bd. 169.)
- Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit.** Von Prof. Dr. D. Weise. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 4.)  
— siehe auch Buch.
- Schulwesen. Geschichte des deutschen Schulwesens.** Von Oberrealschuldir. Dr. R. Nabe. (Bd. 85.)
- Seekrieg.** Eine geschichtl. Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegenwart. Von R. Freiherrn v. Malchahn, Vizeadmiral a. D. (Bd. 99.)  
— Das Kriegsschiff. Von Geh. Marinebaurat Krieger. Mit 60 Abb. (Bd. 389.)  
— siehe Krieg.
- Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung.** Von G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.)  
— siehe auch Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung.
- Soziale Kämpfe im alten Rom** siehe Rom.
- Sozialismus. Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrh.** Von Privatdoz. Dr. Fr. Mucke. 2 Bde.  
Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.)  
Band II: Proudhon und der entwicklungs-geschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.)
- Städte, Die.** Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. R. Hassert. Mit 21 Abb. (Bd. 163.)  
— Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)  
— Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Von Reg.-Baumeister a. D. A. Erbe. Mit 59 Abb. (Bd. 117.)  
— siehe auch Griechische Städte, ferner Pompeji, Rom.
- Statistik.** Von Prof. Dr. S. Schott. (Bd. 442.)
- Strafe und Verbrechen.** Von Dr. B. Polliß. (Bd. 323.)
- Student, Der Leipziger, von 1409 bis 1909.** Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
- Telegraphie, Die, in ihrer Entwicklung und Bedeutung.** Von Postrat J. Brunß. Mit 4 Fig. (Bd. 183.)
- Testamentserrichtung und Erbrecht.** Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
- Theater, Das.** Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gaehde. 2. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 230.)
- über Universitäten u. Universitätsstudium.** B. Prof. Dr. Th. Biegler. (Bd. 411.)  
— siehe auch Student, Der Leipziger.
- Urheberrecht. Das Recht an Schrift- und Kunstwerken.** Von Rechtsanwalt Dr. R. Mothes. (Bd. 435.)
- Verbrechen. Strafe und B.** Von Dr. B. Polliß. (Bd. 323.)
- Verbrechen und Aberglaube.** Skizzen aus der volkstümlichen Kriminalistik. Von Dr. A. Sellwig. (Bd. 212.)
- Verbrecher. Die Psychologie des B.** Von Dr. B. Polliß. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.)
- Verfassung. Grundzüge der B. des Deutschen Reiches.** Von Prof. Dr. E. Loening. 4. Aufl. (Bd. 34.)
- Verfassungsrecht, Deutsches, in geschichtlicher Entwicklung.** Von Prof. Dr. E. D. Subrich. 2. Aufl. (Bd. 80.)
- Verkehrsentwicklung in Deutschland, 1800 bis 1900** (fortgeführt bis zur Gegenwart). Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft. Von Prof. Dr. W. Vogt. 3. Aufl. (Bd. 15.)  
— siehe auch Eisenbahnwesen.
- Versicherungswesen. Grundzüge des B.** Von Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl. (Bd. 105.)  
— siehe auch Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung und Reichsversicherung.
- Volksterte und Volkssitten, Deutsche.** Von S. S. Rehm. Mit 11 Abb. (Bd. 214.)
- Volkstämme, Die deutschen, und Landschaften.** Von Prof. Dr. D. Weise. 4. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 16.)
- Volkstrachten, Deutsche.** Von Pfarrer C. Spieß. (Bd. 342.)  
— siehe auch Deutsche Volksterte usw.
- Vom Bund zum Reich.** Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 102.)
- Von Luther zu Bismarck.** 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Prof. Dr. D. Weber. 2 Bde. 2. Aufl. (Bd. 123, 124.)
- Wahlrecht, Das.** Von Reg.-Rat Dr. D. Poensgen. (Bd. 249.)
- Weidwerk, Das deutsche.** Von G. Frh. v. Nordenflycht. (Bd. 436.)
- Welthandel** siehe Handel.
- Wirtschaftliche Erdkunde.** Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearb. von Prof. Dr. R. Dove. (Bd. 122.)

**Wirtschaftsleben, Deutsches.** Auf geographischer Grundlage geschildert. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. Neubearb. von Dr. S. Reinlein. (Bd. 42.)

— **Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrhundert.** Von Prof. Dr. L. Pohle. 3. Aufl. (Bd. 57.)

— **Deutschlands Stellung in der Welt-**

**Wichtige Gebiete der Volkswirtschaft** sind auch in der Abteilung Naturwissenschaft und Technik behandelt unter den Stichwörtern: Automobil, Bierbrauerei, Bilder aus der chem. Technik, Eisenbahnwesen, Eisenhüttenwesen, Elektr. Kraftübertragung, Gartenstadtbewegung, Ingenieurtechnik, Kaffee, Kakao, Kinematographie, Kohlen, Landwirtschaftl. Maschinen, Metalle, Patente, Salz, Schmelzsteine, Spinnerei, Straßenbahnen, Tabak, Tee, Wald, Wasserkraftmaschinen, Weinbau.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

## Aus Mathematik, Naturwissenschaften, Medizin u. Technik erschienen:

**Überglaupe, Der, in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben.** Von Prof. Dr. D. v. Hansemann. 2. Aufl. (Bd. 83.)

**Abstammungs- und Züchtungslehre, Experimentelle.** Von Dr. S. Lehmann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.)

**Abstammungslehre und Darwinismus.** Von Prof. Dr. R. Hesse. 4. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39.)

**Agrikulturchemie.** Von Dr. B. Frische. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)

**Algebra** siehe Arithmetik.

**Alkoholismus, Der.** Von Dr. G. B. Gruber. Mit 7 Abb. (Bd. 103.)

**Ameisen, Die.** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 61 Fig. (Bd. 94.)

**Anatomie des Menschen, Die.** Von Prof. Dr. R. v. Bardeleben. 6 Bde. 2. Aufl. I. Teil: Zellen- und Gewebelehre. Entwicklungsgeschichte der Körper als Ganzes. Mit 70 Abb. (Bd. 418.)

II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abb. (Bd. 419.)

III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem. Mit 68 Abb. (Bd. 420.)

IV. Teil: Die Eingeweide (Darm-, Atmungs-, Harn- und Geschlechtsorgane). Mit 39 Abb. (Bd. 421.)

V. Teil: Nervensystem und Sinnesorgane. Mit Abb. (Bd. 422.)

VI. Teil: Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abb. (Bd. 423.)

**Aquarium, Das.** Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)

**Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Cranz. 2 Bde.

**wirtschaft.** Von Prof. Dr. P. Arndt. 2. Aufl. (Bd. 179.)

**Wirtschaftliche Organisation, Die.** Von Privatdozent Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)

**Wirtschaftsgeschichte** siehe Antike Wirtschaftsgeschichte.

**Zeitungswesen.** Von Dr. S. Diez. (Bd. 328.)

**Zivilprozessrecht, Das deutsche.** Von Rechtsanwalt Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)

I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. 2. Aufl. Mit 9 Fig. (Bd. 120.)

II. Teil: Gleichungen. Arithmetische und geometrische Reihen. Zinsszins- und Rentenrechnung. Komplexe Zahlen. Binomischer Lehrsatz. 3. Aufl. Mit 23 Fig. (Bd. 205.)

**Arzneimittel und Genussmittel.** Von Prof. Dr. D. Schmieberg. (Bd. 363.)

**Arzt, Der.** Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leit-faden der foz. Medizin. Von Dr. med. M. Fürst. (Bd. 265.)

**Astronomie, Probleme der modernen Astr.** Von Prof. Dr. S. Oppenheim. Mit 11 Fig. (Bd. 355.)

— **Astronomie in ihrer Bedeutung für das praktische Leben.** Von Prof. Dr. A. Marcuse. Mit 26 Abb. (Bd. 378.)

— siehe auch Weltall, Weltbild, Sonne, Mond, Planeten.

**Atome, Moleküle — Atome — Weltäther.** Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)

**Auge des Menschen, Das, und seine Gesundheitspflege.** Von Prof. Dr. G. Avelsdorff. Mit 15 Abb. (Bd. 149.)

**Auge, Das, und die Brille.** Von Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)

**Automobil, Das.** Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ingenieur R. Blau. 2. Aufl. Mit 86 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 166.)

- Bakterien, Die, im Kreislauf des Stoffes in der Natur und im Haushalt des Menschen.** Von Prof. Dr. E. Gutzeit. Mit 13 Abb. (Bd. 233.)
- **Die krankheitserregenden Bakterien.** Von Privatdozent Dr. M. Voehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)
- Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.** Von Prof. Dr. S. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)
- Baufunde, Das Wohnhaus.** Von Reg.-Baumeister a. D. G. Langen. 2 Bde. Mit 11 Abb.
- Vb. I: Sein technischer Aufbau. (Bd. 444.)  
Vb. II: Seine Anlage und Ausgestaltung. (Bd. 445.)
- **Eisenbetonbau, Der.** Von Dipl.-Ing. E. Saimovici. 81 Abb. (Bd. 275.)
- Baukunst** siehe Abtlg. Kunst.
- Befruchtungsvorgang, Der, sein Wesen und seine Bedeutung.** Von Dr. E. Teichmann. 2. Aufl. Mit 7 Abb. und 4 Doppeltafeln. (Bd. 70.)
- Befruchtungsarten, Die, der Gegenwart.** Von Dr. S. Burg. Mit 11 Abb. (Bd. 108.)
- Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)
- Biochemie, Einführung in die.** Von Prof. Dr. W. Löb. (Bd. 352.)
- Biologie, Experimentelle.** Von Dr. E. Thejling. Mit 11 Abb. 2 Bde.
- Vb. I: Experimentelle Zellforschung. (Bd. 336.)  
Vb. II: Regeneration, Transplantation und verwandte Gebiete. (Bd. 337.)
- Biologie** siehe auch Abstammungslehre, Befruchtungsvorgang, Erscheinungen des Lebens, Lebewesen, Organismen, Mensch und Tier.
- Blumen, Unsere Bl. und Pflanzen im Garten.** Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
- **Unsere Bl. und Pflanzen im Zimmer.** Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 65 Abb. (Bd. 359.)
- Blut, Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen.** Von Prof. Dr. S. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
- Botanik** siehe Kolonialbotanik, Blumen, Kulturpflanzen.
- Brauerei, Die Bierbrauerei.** Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)
- Brille, Das Auge und die Br.** Von Dr. W. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. (Bd. 372.)
- Buch, Wie ein Buch entsteht.** Von Prof. A. W. Unger. 3. Aufl. Mit 7 Tafeln und 26 Abb. (Bd. 175.)
- siehe auch Abt. Kultur (Buchgewerbe, Schrift- u. Buchwesen).
- Chemie, Einführung in die chemische Wissenschaft.** Von Prof. Dr. W. Löb. Mit 16 Figuren. (Bd. 264.)
- **Bilder aus der chemischen Technik.** Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)
- Chemie in Küche und Haus.** Von weil. Prof. Dr. G. Abel. 2. Aufl. von Dr. J. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)
- Chemie und Technologie der Sprengstoffe.** Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Chirurgie, Die, unserer Zeit.** Von Prof. Dr. F. Keller. Mit 52 Abb. (Bd. 339.)
- Dampfessel** siehe Dampfmaschine I und Feuerungsanlagen.
- Dampfmaschine, Die.** 2 Bde. I: Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 393.)
- II: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 95 Abb. u. 1 Taf. (Bd. 394.)
- Darwinismus, Abstammungslehre und D.** Von Prof. Dr. R. Hesse. 4. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39.)
- Differential- u. Integralrechnung.** Von Dr. M. Lindow. (Bd. 387.)
- Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik.** Von Telegrapheninspektor S. Brück. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
- Eisenbahnwesen, Das.** Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor a. D. E. Biedermann. 2. Aufl. M. zahlr. Abb. (Bd. 144.)
- siehe auch Klein- u. Straßenbahnen, Verkehrsentwicklung.
- Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Saimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)
- Eisenhüttenwesen.** Von weil. Geh. Bergrat Prof. Dr. S. Webbing. 4. Aufl. von Bergreferendar F. W. Webbing. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)
- Eszeit, Die, und der vorgeschichtliche Mensch.** Von Prof. Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)
- Elektrische Kraftübertragung.** Von Ing. W. Köhn. Mit 155. (Bd. 424.)
- Elektrochemie.** Von Prof. Dr. A. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)
- Elektrotechnik, Grundlagen der.** Von Dr. A. Koffh. Mit 72 Abb. (Bd. 391.)
- siehe auch Drähte und Kabel, Telegraphie.
- Energie, Die Lehre von der.** Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)
- Ernährung und Nahrungsmittel.** Von weil. Prof. Dr. J. Frenkel. 2. Aufl. Neu bearbeitet von Geh.-Rat Prof. Dr. R. Bunz. Mit 7 Abb. und 2 Tafeln. (Bd. 19.)
- Erscheinungen, Die, des Lebens.** Von Prof. Dr. S. Wiehe. Mit 40 Fig. (Bd. 130.)

- Farben** siehe Licht.
- Feuerungsanlagen, Industrielle, u. Dampf-  
kessel.** Von Ingenieur J. E. Mayer.  
Mit 88 Abb. (Bd. 348.)
- Funkentelegraphie.** Von Oberpostpraktikant  
S. Thurn. Mit 53 Illustr. 2. Aufl.  
(Bd. 167.)
- Garten** siehe Blumen, Pflanzen.
- Gartenkunst, Geschichte der.** Von Reg.-  
Baumeister Chr. Rand. Mit 41 Abb.  
(Bd. 274.)
- Gartenstadtbewegung, Die.** Von General-  
sekretär S. Kampffmeyer. Mit 43  
Abb. 2. Aufl. (Bd. 259.)
- Gebiß, Das menschliche, seine Erkrankung  
und Pflege.** Von Zahnarzt Fr. Jä-  
ger. Mit 24 Abb. (Bd. 229.)
- Geisteskrankheiten.** Von Anstaltsarzt  
Dr. G. Fiberg. (Bd. 151.)
- Genußmittel** siehe Kaffee, Tee, Kakao,  
Tabak, Arzneimittel u. Genußmittel.
- Geologie, Aus der Vorzeit der Erde.** Von  
Prof. Dr. Fr. Frech. 2. Aufl.  
Bd. I: Vulkan einßt und jekt. Mit 80  
Abb. (Bd. 207.)  
Bd. II: Gebirgsbau und Erdbeben. Mit  
57 Abb. (Bd. 208.)  
Bd. III: Die Arbeit des fließenden Was-  
sers. Mit 51 Abb. (Bd. 209.)  
Bd. IV: Die Arbeit des Ozeans und die  
chemische Tätigkeit des Wassers im all-  
gemeinen. Mit 1 Titelbild und 51 Abb.  
(Bd. 210.)  
Bd. V: Kohlenbildung und Klima der  
Vorzeit. 49 Abb. u. 1 Titelbild.  
(Bd. 211.)  
Bd. VI: Gletscher einßt und jekt. Mit  
1 Titelbild und 65 Abb. (Bd. 61.)
- Geschlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Ver-  
breitung, Bekämpfung und Verhütung.**  
Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schum-  
burg. 2. Aufl. Mit 4 Abb. und 1 Tafel.  
(Bd. 251.)
- Gesundheitslehre, Acht Vorträge aus der  
G.** Von weil. Prof. Dr. S. Buchner.  
4. Aufl. besorgt von Prof. Dr. M. von  
Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)
- Gesundheitslehre für Frauen.** Von Prof.  
Dr. Opiß. Mit Abb. (Bd. 171.)
- Getreidegräser** siehe Kulturpflanzen.
- Graphische Darstellung, Die.** Von Prof.  
Dr. F. Auerbach. (Bd. 437.)
- Handfeuerwaffen, Die, Ihre Entwicklung  
und Technik.** Von Hauptmann R. Weiß.  
Mit 69 Abb. (Bd. 364.)
- Häuserbau** siehe Baukunde, Heizung und  
Lüftung.
- Häustiere, Die Stammesgeschichte unserer  
S.** Von Prof. Dr. E. Keller. Mit 28  
Fig. (Bd. 252.)
- Hebzeuge, Das Heben fester, flüssiger und  
luftförmiger Körper.** Von Geh. Bergrat  
Prof. R. Vater. Mit 67 Abb. (Bd. 196.)
- Heilwissenschaft, Die moderne, Wesen und  
Grenzen des ärztlichen Wissens.** Von  
Dr. E. Biernadi. Deutsch von Dr.  
S. Ebel. (Bd. 25.)
- Heizung und Lüftung.** Von Ingenieur  
J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Er-  
krankungen.** Von Prof. Dr. S. Kojin.  
Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
- Hüttenwesen** siehe Eisenhüttenwesen.
- Hypnotismus und Suggestion.** Von Dr.  
E. Trömmner. 2. Aufl. (Bd. 199.)
- Infinitesimalrechnung, Einführung in die  
S. mit einer historischen Übersicht.** Von  
Prof. Dr. G. Nowalewski. 2. Aufl.  
Mit 18 Fig. (Bd. 197.)
- Ingenieurtechnik, Bilder aus der S.** Von  
Baurat R. Merdel. Mit 43 Abb.  
(Bd. 60.)
- **Schöpfungen der Ingenieurtechnik der  
Neuzeit.** Von Geh. Regierungsrat M.  
Geitel. Mit Abb. (Bd. 28.)
- Kabel, Drähte und L., ihre Anfertigung  
und Anwendung in der Elektrotechnik.**  
Von Telegrapheninspektor S. Brid. Mit  
43 Abb. (Bd. 285.)
- Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen nar-  
kotischen Getränke.** Von Prof. Dr. A.  
Wieler. Mit 24 Abb. und 1 Karte.  
(Bd. 132.)
- Kälte, Die, ihr Wesen, ihre Erzeugung und  
Verwertung.** Von Dr. S. Alt. Mit  
45 Abb. (Bd. 311.)
- Kinematographie.** Von Dr. S. Leh-  
mann. Mit 69 Abb. (Bd. 358.)
- Klein- und Straßenbahnen.** Von Ober-  
ingenieur a. D. A. Liebmann. Mit  
85 Abb. (Bd. 322.)
- Kohlen, Unsere.** Von Bergassessor P. Ku-  
luk. Mit 60 Abb. (Bd. 396.)
- Kolonialbotanik.** Von Prof. Dr. F. Tob-  
ler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
- Korallen und andere gesteinbildende Tiere.**  
Von Prof. Dr. W. Mah. Mit 45 Abb.  
(Bd. 321.)
- Kraftanlagen** siehe Feuerungsanlagen und  
Dampfkessel, Elektr. Kraftübertragung,  
Dampfmaschine, Wärmekraftmaschine.
- Kraftmaschinen** siehe Wärmekraftmaschine,  
Wasserkraftmaschine.
- Kraftübertragung, Die elektrische.** Von In-  
genieur P. Köhn. Mit Abb. (Bd. 424.)
- Krankenpflege.** Von Chirurgen Dr. B. Leid.  
(Bd. 152.)
- Kriegsschiff, Das.** Von Geh. Marinebau-  
rat Krieger. Mit 60 Abb. (Bd. 389.)
- Küche** siehe Chemie in Küche und Haus.
- Kulturpflanzen, Unsere wichtigsten S. (Die  
Getreidegräser).** Von Prof. Dr. R. Gie-  
senhagen. 2. Aufl. Mit 38 Fig.  
(Bd. 10.)

- Landwirtschaftliche Maschinenkunde.** Von Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abb. (Bd. 316.)
- Lebewesen. Die Beziehungen der L. zueinander.** Von Prof. Dr. R. Kraepelin. Mit Abb.  
— I. Der Tiere zueinander. (Bd. 426.)  
— II. Der Pflanzen zueinander und zu den Tieren. (Bd. 427.)  
— siehe Organismen, Biologie.
- Leibesübungen, Die, und ihre Bedeutung für die Gesundheit.** Von Prof. Dr. R. Zander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)
- Licht, Das, und die Farben.** Von Prof. Dr. S. Graetz. 3. Aufl. Mit 117 Abb. (Bd. 17.)
- Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimentalchemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. 4. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)
- Luftfahrt, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung.** Von Dr. R. Nimführ. 3. Aufl. von Dr. Fr. Huth. Mit zahlr. Abb. (Bd. 300.)
- Luftstickstoff, Der, und seine Verwertung.** Von Prof. Dr. R. Kaiser. Mit 13 Abb. (Bd. 313.)
- Lüftung, Heizung und L.** Von Ingenieur F. G. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
- Maschinen** siehe Hebezeuge, Dampfmaschine, Wärmekraftmaschine, Wasserkraftmaschine und die folg. Bände.
- Maschinenelemente.** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)
- Maschinenkunde** siehe Landwirtschaftl. Maschinenkunde.
- Maße und Messen.** Von Dr. W. Bloch. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)
- Mathematik, Praktische.** Von Dr. R. Neundorff. I. Teil: Graphisches u. numerisches Rechnen. Mit 62 Fig. u. 1 Tafel. (Bd. 341.)
- Mathematik, Naturwissenschaften und R. im klassischen Altertum.** Von Prof. Dr. Joh. S. Heiberg. (Bd. 370.)
- Mathematische Spiele.** Von Dr. W. Ahrens. 2. Aufl. Mit 70 Fig. (Bd. 170.)
- Mechanik.** Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Fhering. 2 Bde.  
Bd. I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. (Bd. 303.)  
Bd. II: Die Mechanik der flüssigen Körper. Mit 34 Abb. (Bd. 304.)
- Meeresforschung und Meeresleben.** Von Dr. O. Zanzon. 3. Aufl. Mit 41 Fig. (Bd. 30.)
- Mensch. Entwicklungsgeschichte des M.** Von Dr. A. Heilborn. Mit Abb. (Bd. 388.)
- Mensch der Urzeit, Der. Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechtes.** Von Dr. A. Heilborn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)
- Mensch, Der vorgebüchtliche, siehe Eiszeit.**
- Mensch und Erde.** Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil. Prof. Dr. A. Kirchhoff. 3. Aufl. (Bd. 31.)
- Mensch und Tier. Der Kampf zwischen Mensch und Tier.** Von Prof. Dr. R. E. C. Stein. 2. Aufl. Mit 51 Fig. (Bd. 18.)
- Menschlicher Körper. Bau und Tätigkeit des menschl. K.** Von Prof. Dr. S. C. Sach. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)  
— siehe auch Anatomie, Blut, Herz, Nervensystem, Sinne, Verbindungen.
- Metalle, Die.** Von Prof. Dr. R. Scheid. 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)
- Mikroskop, Das, seine Optik, Geschichte und Anwendung.** Von Dr. Scheffer. 2. Aufl. Mit 66 Abb. (Bd. 35.)
- Milch, Die, und ihre Produkte.** Von Dr. A. Reib. Mit 16 Abb. (Bd. 362.)
- Moleküle — Atome — Weltäther.** Von Prof. Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)
- Mond, Der.** Von Prof. Dr. F. Franz. Mit 31 Abb. (Bd. 90.)
- Naturlehre. Die Grundbegriffe der modernen N.** Von Prof. Dr. F. Muerbach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)
- Naturstoffe. Künstliche Darstellung von N.** Von Prof. Dr. E. Rüst. Mit Abb. (Bd. 457.)
- Naturwissenschaften im Haushalt.** Von Dr. F. Bongardt. 2 Bde.  
I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb. (Bd. 125.)  
II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abb. (Bd. 126.)
- Naturwissenschaften und Mathematik im klassischen Altertum.** Von Prof. Dr. Joh. S. Heiberg. (Bd. 370.)
- Naturwissenschaft und Religion. N. und R. in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick.** Von Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)
- Naturwissenschaften und Technk. Am tausenden Webstuhl der Zeit, übersicht über Wirkungen der Entwicklung der N. und T. auf das gesamte Kulturleben.** Von Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 23.)
- Nautik.** Von Dir. Dr. F. Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)
- Nerven. Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande.** Von Prof. Dr. R. Zander. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.)
- Obstbau.** Von Dr. E. Voges. Mit 13 Abb. (Bd. 107.)
- Optik** siehe Auge, Brille, Licht u. Farbe, Mikroskop, Spektroskopie, Stereoskop, Strahlen.

- Optischen Instrumente, Die.** Von Dr. M. v. Mohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)
- Organismen, Die Welt der D.** In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt. Von Prof. Dr. R. Lambert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)
- siehe Lebewesen.
- Patente und Patentrecht** siehe Abtlg. Recht. (Gewerbl. Rechtsschutz).
- Pflanzen, Das Werden und Vergehen der Pfl.** Von Prof. Dr. P. Gisevius. Mit 24 Abb. (Bd. 173.)
- Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.)
- Die fleischfressenden Pflanzen. Von Dr. A. Wagner. Mit 82 Abb. (Bd. 344.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Zimmer. Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 65 Abb. (Bd. 359.)
- siehe auch Lebewesen.
- Pflanzen- und Tierstoffe, Natürliche und künstliche.** Von Dr. B. Davinik. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)
- Pflanzenwelt des Mikroskops, Die.** Von Bürgerstullehrer E. Reukauf. Mit 100 Abb. (Bd. 181.)
- Photochemie.** Von Prof. Dr. G. Rammell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)
- Photographie, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre Anwendung.** Von Dr. D. Prelinger. Mit 15 Abb. (Bd. 414.)
- Photographie, Die künstlerische.** Von Dr. W. Warstat. Mit Bilderanhang (12 Tafeln). (Bd. 410.)
- Physik, Werdegang der modernen Ph.** Von Dr. S. Keller. Mit 13 Fig. (Bd. 343.)
- Einleitung in die Experimentalphysik. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 90 Abb. (Bd. 371.)
- Physiker, Die großen Ph. und ihre Leistungen.** Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)
- Pilze, Die.** Von Dr. A. Eichinger. Mit 54 Abb. (Bd. 334.)
- Planeten, Die.** Von Prof. Dr. B. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.)
- Planimetrie zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Franke. Mit 99 Fig. (Bd. 340.)
- Radium und Radioaktivität.** Von Dr. M. Centnerzwer. 33 Abb. (Bd. 405.)
- Salzlagertstätten, Die.** Von Dr. E. Riemann. (Bd. 407.)
- Säugling, Der, seine Ernährung und seine Pflege.** Von Dr. W. Raupe. Mit 17 Abb. (Bd. 154.)
- Schachspiel, Das, und seine strategischen Prinzipien.** Von Dr. M. Lange. 2. Aufl. Mit den Bildnissen E. Laskers und P. Morphy's, 1 Schachbretttafel u. 43 Darst. von Abzugsbeispielen. (Bd. 281.)
- Schiffbau** siehe Kriegsschiff.
- Schiffahrt** siehe Nautik und Abt. Wirtschaft.
- Schmucksteine, Die, und die Schmuckstein-Industrie.** Von Dr. A. Eppeler. Mit 64 Abb. (Bd. 376.)
- Schulhygiene.** Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 43 Fig. (Bd. 96.)
- Sinne des Menschen, Die fünf.** Von Prof. Dr. J. R. Kreibitz. 2. Aufl. Mit 39 Abb. (Bd. 27.)
- Spektroskopie.** Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)
- Spinnerei.** Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abb. (Bd. 338.)
- Sprengstoffe, Chemie und Technologie der Spr.** Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)
- Stereoskop, Das, und seine Anwendungen.** Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. und 19 Tafeln. (Bd. 135.)
- Sonne, Die.** Von Dr. A. Krause. Mit 64 Abb. im Text u. auf 1 Buntdrucktafel. (Bd. 357.)
- Stimme, Die menschliche St. und ihre Hygiene.** Von Prof. Dr. P. S. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)
- Strahlen, Sichtbare und unsichtbare.** Von Prof. Dr. R. Förnstein und Prof. Dr. W. Markwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)
- Strassenbahnen, Die Klein- und Strassenbahnen.** Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
- Suggestion, Hypnotismus und Suggestion.** B. Dr. E. Trömer. 2. Aufl. (Bd. 199.)
- Süßwasser-Plankton, Das.** Von Prof. Dr. O. Zacharias. 2. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 156.)
- Tabak, Der, in Landwirtschaft, Handel und Industrie.** Mit Abb. Von Jac. Wolf. (Bd. 416.)
- Teer, Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Getränke.** Von Prof. Dr. A. Winter. Mit 24 Abb. und 1 Karte. (Bd. 132.)
- Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung.** Von Telegrapheninspektor S. Brück. Mit 58 Abb. (Bd. 235.)
- Die Funkentelegraphie. Von Oberpostpraktikant S. Thurn. Mit 53 Illust. 2. Aufl. (Bd. 167.)
- siehe auch Drähte und Kabel.
- Tiere der Vorzeit.** Von Prof. Dr. O. Abel. Mit Abb. (Bd. 399.)

**Tierkunde.** Eine Einführung in die Zoologie. Von weil. Privatdozent Dr. F. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)  
— **Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere.** Von Prof. Dr. D. Maass. Mit 11 Karten und Abb. (Bd. 139.)  
— **Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus).** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)  
— siehe auch **Bebewesen.**  
**Tierwelt des Mikroskops (Die Urtiere).** Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 39 Abb. (Bd. 160.)  
**Tierzüchtung.** Von Dr. G. Wilsdorf. Mit 30 Abb. auf 12 Tafeln. (Bd. 369.)  
— **Die Fortpflanzung der Tiere.** Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)  
**Trigonometrie, Ebene, zum Selbstunterricht.** Von Prof. Dr. P. Franke. Mit 50 Fig. (Bd. 431.)  
**Tuberkulose, Die, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung.** Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 1 Tafel u. 8 Fig. (Bd. 47.)  
**Uhr, Die.** Von Reg.-Bauführer a. D. H. Bodt. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)  
**Verbildungen, Körperliche, im Kindesalter und ihre Verhütung.** Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)  
**Vererbung, Experimentelle Abstammungs- und Vererbungslehre.** Von Dr. S. Lehmann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.)  
**Vogelleben, Deutsches.** Von Prof. Dr. A. Voigt. (Bd. 221.)  
**Vogelzug und Vogelschutz.** Von Dr. W. R. Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)  
**Vollnahrungsmittel** siehe **Ernährung u. B.**  
**Wald, Der deutsche.** Von Prof. Dr. H. Gauzarth. 2. Aufl. Mit 15 Abb. und 2 Karten. (Bd. 153.)

**Wärme. Die Lehre von der W.** Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 33 Abb. (Bd. 172.)  
— siehe auch **Luft, Wasser, Licht, Wärme.**  
**Wärmekraftmaschinen, Die neueren.** 2 Bde.  
I: **Einführung in die Theorie und den Bau der Maschinen für gasförmige und flüssige Brennstoffe.** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 4. Aufl. Mit 33 Abb. (Bd. 21.)  
— II: **Gasmaschinen, Gas- und Dampfturbinen.** Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)  
— siehe auch **Kraftanlagen.**  
**Wasser, Das.** Von Privatdozent Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)  
— siehe auch **Luft, Wasser, Licht, Wärme.**  
**Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte.** Von Geh. Reg.-Rat A. v. Zehring. 2. Aufl. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)  
**Weinbau und Weinbereitung.** Von Dr. F. Schmittanner. 34 Abb. (Bd. 332.)  
**Weltall, Der Bau des W.** Von Prof. Dr. F. Scheiner. 4. Aufl. Mit 26 Fig. (Bd. 24.)  
**Weltäther** siehe **Moleküle.**  
**Weltbild, Das astronomische W. im Wandel der Zeit.** Von Prof. Dr. S. Oppenheim. 2. Aufl. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)  
**Weltentstehung, Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft.** Von Prof. Dr. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)  
**Wetter, Gut und schlecht.** Von Dr. R. Hennig. Mit 46 Abb. (Bd. 349.)  
**Wind und Wetter.** Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit 28 Figuren und 3 Tafeln. (Bd. 55.)  
**Wirbeltiere, Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der W.** Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)  
**Wohnhaus** siehe **Baukunde.**  
**Zahnheilkunde** siehe **Gebiß.**

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

# DIE KULTUR DER GEGENWART

== IHRE ENTWICKLUNG UND IHRE ZIELE ==

HERAUSGEGEBEN VON PROF. PAUL HINNEBERG

Eine systematisch aufgebaute, geschichtlich begründete Gesamtdarstellung unserer heutigen Kultur, welche die Fundamentalergebnisse der einzelnen Kulturgebiete nach ihrer Bedeutung für die gesamte Kultur der Gegenwart und für deren Weiterentwicklung in großen Zügen zur Darstellung bringt. Das Werk vereinigt eine Zahl erster Namen aus Wissenschaft und Praxis und bietet Darstellungen der einzelnen Gebiete jeweils aus der Feder des dazu Berufensten in gemeinverständlicher, künstlerisch gewählter Sprache auf knappstem Raume. Jeder Band ist inhaltlich vollständig in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

\*) Jeder Band kostet in Leinw. geb. M. 2.—, in Halbfr. geb. M. 4.— mehr.

TEIL I u. II: Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete.

Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Gegenwart.

Geh. \*) M. 18.—. [2. Aufl. 1912. Teil I, Abt. 1.]

Inhalt: Das Wesen der Kultur: W. Lexis. — Das moderne Bildungswesen: Fr. Paulsen † — Die wichtigsten Bildungsmittel. A. Schulen und Hochschulen. Das Volksschulwesen: G. Schöppa. Das höhere Knabenschulwesen: A. Matthias. Das höhere Mädchenschulwesen: H. Gaudig. Das Fach- und Fortbildungsschulwesen: G. Kerschensteiner. Die geisteswissenschaftliche Hochschulausbildung: Fr. Paulsen †. Die mathematische, naturwissenschaftliche Hochschulausbildung: W. v. Dyck. B. Museen. Kunst- und Kunstgewerbemuseen: L. Pallat. Naturwissenschaftliche Museen: K. Kraepelin. Technische Museen: W. v. Dyck. C. Ausstellungen, Kunst- u. Kunstgewerbeausstellungen: J. Lessing †. Naturwissenschaftl.-techn. Ausstellungen: O. N. Witt. D. Die Musik: G. Göhler. E. Das Theater: P. Schlenther. F. Das Zeitungswesen: K. Bücher. G. Das Buch: R. Pietschmann. H. Die Bibliotheken: F. Milkau. — Organisation der Wissenschaft: H. Diels.

Die Religionen des Orients und die altgermanische Religion.

Geh. \*) M. 8.—. [2. Aufl. 1913. Teil I, Abt. 3, I.]

Inhalt: Die Anfänge der Religion und die Religion der primitiven Völker: Edv. Lehmann. — Die ägyptische Religion: A. Erman. — Die asiatischen Religionen: Die babylonisch-assyrische Religion: C. Bezold. — Die indische Religion: H. Oldenberg. — Die iranische Religion: H. Oldenberg. — Die Religion des Islams: J. Goldziher. — Der Lamaismus: A. Grünwedel. — Die Religionen der Chinesen: J. J. M. de Groot. — Die Religionen der Japaner: a) Der Shintoismus: K. Florenz, b) Der Buddhismus: H. Haas. — Die orientalischen Religionen in ihrem Einfluß auf den Westen im Altertum: Fr. Cumont. — Altgermanische Religion: A. Heusler.

Geschichte der christl. Religion. M. 18.—\*). [2. A. 1909. T. I, 4, I.]

Inhalt: Die israelitisch-jüdische Religion: J. Wellhausen. — Die Religion Jesu und die Anfänge des Christentums bis zum Nicaenum (325): A. Jülicher. — Kirche und Staat bis zur Gründung der Staatskirche: A. Harnack. — Griechisch-orthodoxes Christentum und Kirche in Mittelalter und Neuzeit: N. Bonwetsch. — Christentum und Kirche Westeuropas im Mittelalter: K. Müller. — Katholisches Christentum und Kirche in der Neuzeit: A. Ehrhard. — Protestantisches Christentum und Kirche in der Neuzeit: E. Troeltsch.

Systemat. christl. Religion. M. 6.60\*). [2. A. 1909. Teil I, 4, II.]

Inhalt: Wesen der Religion u. der Religionswissenschaft: E. Troeltsch. — Christlich-katholische Dogmatik: J. Pohle. — Christlich-katholische Ethik: J. Mausbach. — Christlich-katholische praktische Theologie: C. Krieg. — Christlich-protestantische Dogmatik: W. Herrmann. — Christlich-protestantische Ethik: R. Seeberg. — Christlich-protestantische praktische Theologie: W. Faber. — Die Zukunftsaufgaben der Religion und der Religionswissenschaft: H. J. Holtzmann.

Allgemeine Geschichte der Philosophie. Geh. \*) M. 14.—.

[2. Auflage 1913. Teil I, Abt. 5.]

Inhalt. Einleitung. Die Anfänge der Philosophie und die Philosophie der primitiven Völker: W. Wundt. I. Die indische Philosophie: H. Oldenberg. II. Die islamische und jüdische Philosophie: J. Goldziher. III. Die chinesische Philosophie: W. Grube. IV. Die japanische Philosophie: T. Jnouye. V. Die europäische Philosophie des Altertums: H. v. Arnim. VI. Die patristische Philosophie: Cl. Bäumker. VII. Die europäische Philosophie des Mittelalters: Cl. Bäumker. VIII. Die neuere Philosophie: W. Windelband.

**Systemat. Philosophie. Geh.\*) M. 10.—. [2. Aufl. 1908. T. I, 6.]**

Inhalt. Allgemeines. Das Wesen der Philosophie: W. Dilthey. — Die einzelnen Teilgebiete. I. Logik und Erkenntnistheorie: A. Riehl. II. Metaphysik: W. Wundt. III. Naturphilosophie: W. Ostwald. IV. Psychologie: H. Ebbinghaus. V. Philosophie der Geschichte: R. Eucken. VI. Ethik: Fr. Paulsen. VII. Pädagogik: W. Münch. VIII. Ästhetik: Th. Lipps. — Die Zukunftsaufgaben der Philosophie: Fr. Paulsen.

**Die oriental. Literaturen. Geh.\*) M. 10.—. [1906. Teil I, Abt. 7.]**

Inhalt. Die Anfänge der Literatur und die Literatur der primitiven Völker: E. Schmidt. — Die ägyptische Literatur: A. Erman. — Die babylonisch-assyrische Literatur: C. Bezold. — Die israelitische Literatur: H. Gunkel. — Die aramäische Literatur: Th. Nöldeke. — Die äthiop. Literatur: Th. Nöldeke. — Die arab. Literatur: M. J. de Goeje. — Die ind. Literatur: R. Pischel. — Die altpers. Literatur: K. Geldner. — Die mittelpers. Literatur: P. Horn. — Die neupers. Literatur: P. Horn. — Die türkische Literatur: P. Horn. — Die armenische Literatur: F. N. Finck. — Die georg. Literatur: F. N. Finck. — Die chines. Literatur: W. Grube. — Die japan. Literatur: K. Florenz.

**Die griechische und lateinische Literatur und Sprache. Geh.\*)**

**M. 12.—. [3. Auflage. 1912. Teil I, Abt. 8.]**

Inhalt: I. Die griechische Literatur und Sprache: Die griech. Literatur des Altertums: U. v. Wilamowitz-Moellendorff. — Die griech. Literatur des Mittelalters: K. Krumbacher. — Die griech. Sprache: J. Wackernagel. — II. Die lateinische Literatur und Sprache: Die römische Literatur des Altertums: Fr. Leo. — Die latein. Literatur im Übergang vom Altertum zum Mittelalter: E. Norden. — Die latein. Sprache: F. Skutsch.

**Die osteuropäischen Literaturen u. die slawischen Sprachen.**

**Geh.\*) M. 10.—. [1908. Teil I, Abt. 9.]**

Inhalt: Die slawischen Sprachen: V. v. Jagić. — Die slawischen Literaturen. I. Die russische Literatur: A. Wesselovsky. — II. Die poln. Literatur: A. Brückner. III. Die böhm. Literatur: J. Máchal. IV. Die südslaw. Literaturen: M. Murko. — Die neugriech. Literatur: A. Thumb. — Die finnisch-ugr. Literaturen. I. Die ungar. Literatur: F. Riedl. II. Die finn. Literatur: E. Setälä. III. Die estn. Literatur: G. Suits. — Die litauisch-lett. Literaturen. I. Die lit. Literatur: A. Bezenberger. II. Die lett. Literatur: E. Wolter.

**Die romanischen Literaturen und Sprachen. Mit Einschluß des Keltischen. Geh.\*) M. 12.—. [1908. Teil I, Abt. 11, I.]**

Inhalt: I. Die kelt. Literaturen. 1. Sprache u. Literatur im allgemeinen: H. Zimmer. 2. Die einzelnen kelt. Literaturen. a) Die ir.-gäl. Literatur: K. Meyer. b) Die schott.-gäl. u. die Manx-Literatur. c) Die kymr. (walis.) Literatur. d) Die korn. u. die breton. Literatur: L. Ch. Stern. II. Die roman. Literaturen: H. Morf. III. Die roman. Sprachen: W. Meyer-Lübke.

**Allgemeine Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte. I. Hälfte.**

**Geh.\*) M. 10.—. [1911. Teil II, Abt. 2, I.]**

Inhalt: Einleitung. Die Anfänge der Verfassung und der Verwaltung und die Verfassung und Verwaltung der primitiven Völker: A. Vierkandt. A. Die orientalische Verfassung und Verwaltung: 1. des orientalischen Altertums: L. Wenger, 2. des Islams: M. Hartmann, 3. Chinas: O. Franke, 4. Japans: K. Rathgen. — B. Die europäische Verfassung und Verwaltung (1. Hälfte): 1. des europäischen Altertums: L. Wenger, 2. der Germanen und des Deutschen Reiches bis zum Jahre 1806: A. Luschin v. Ebengreuth.

**Staat u. Gesellschaft d. Griechen u. Römer. M. 8.—\*). [1910. II, 4, I.]**

Inhalt: I. Staat und Gesellschaft der Griechen: U. v. Wilamowitz-Moellendorff — II. Staat und Gesellschaft der Römer: B. Niese.

**Staat u. Gesellschaft d. neueren Zeit. M. 9.—\*). [1908. Teil II, 5, I.]**

Inhalt: I. Reformationszeitalter. a) Staatensystem und Machtverschiebungen. b) Der moderne Staat und die Reformation. c) Die gesellschaftlichen Wandlungen und die neue Geisteskultur: F. v. Bezold. — II. Zeitalter der Gegenreformation: E. Gothein. — III. Zur Höhezeit des Absolutismus. a) Tendenzen, Erfolge und Niederlagen des Absolutismus. b) Zustände der Gesellschaft. c) Abwandlungen des europäischen Staatensystems: R. Koser.

**Allgem. Rechtsgeschichte. [1913. Teil II, Abt. 7, I. Unt. d. Presse.]**

Inhalt: Die Anfänge des Rechts: J. Kohler — Orientalisches Recht im Altertum: L. Wenger. — Europäisches Recht im Altertum: L. Wenger.

**Systematische Rechtswissenschaft. Geh.\*) ca. M. 14.—.** [2. Auflage 1913. Unter der Presse. Teil II, Abt. 8.]

Inhalt: I. Wesen des Rechtes und der Rechtswissenschaft: R. Stammler. II. Die einzelnen Teilgebiete: A. Privatrecht. Bürgerliches Recht: R. Sohm. — Handels- und Wechselrecht: K. Gareis. — Internationales Privatrecht: L. v. Bar. B. Zivilprozeßrecht: L. v. Seuffert. C. Strafrecht u. Strafprozeßrecht: F. v. Liszt. D. Kirchenrecht: W. Kahl. E. Staatsrecht: P. Laband. F. Verwaltungsrecht, Justiz und Verwaltung: G. Anschütz. — Polizei- und Kulturpflege: E. Bernatzik. G. Völkerrecht: F. von Martitz. III. Die Zukunftsaufgaben des Rechtes und der Rechtswissenschaft: R. Stammler.

**Allgemeine Volkswirtschaftslehre. Von W. Lexis. Geh.\*) M. 7.—,** [2. Auflage. 1913. Teil II, Abt. 10, I.]

**TEIL III: Die mathematischen, naturwissenschaftlichen und medizinischen Kulturgebiete.**

**Die Mathematik im Altertum und im Mittelalter: H. G. Zeuthen. Geh. M. 3.—.** [1912. Abt. I. Lfrg. 1.]

**Chemie einschl. Kristallographie u. Mineralogie. Bandredakt.: E. v. Meyer u. F. Rinne. Mit Abb. Geh.\*) M. 18.—.** [1913. Abt. III., 2.]

Inhalt: Entwicklung der Chemie von Robert Boyle bis Lavoisier [1660—1793]: E. v. Meyer. — Die Entwicklung der Chemie im 19. Jahrhundert durch Begründung und Ausbau der Atomtheorie: E. v. Meyer. — Anorganische Chemie: C. Engler und L. Wöhler. — Organische Chemie: O. Wallach. — Physikalische Chemie: R. Luther und W. Nernst. — Photochemie: R. Luther. — Elektrochemie: M. Le Blanc. — Beziehungen der Chemie zur Physiologie: A. Kossel. — Beziehungen der Chemie zum Ackerbau: † O. Kellner und R. Immendorf. — Wechselwirkungen zwischen der chemischen Technik: O. Witt. — Kristallographie und Mineralogie: Fr. Rinne.

**Zellen- u. Gewebelehre, Morphologie u. Entwicklungsgesch.**

**1. Botan. Teil. Mit Abb. Geh.\*) M. 10.—.** [1913. Abt. IV., Bd. 2, I.]

**2. Zoolog. Teil. Mit Abb. Geh.\*) M. 16.—.** [1913. Abt. IV., Bd. 2, II.]

Inhalt des botanischen Teils (Bandred. E. Strasburger): Pflanzl. Zellen- und Gewebelehre: E. Strasburger. — Morphologie und Entwicklungsgeschichte der Pflanzen: W. Benecke. Inhalt des zoologischen Teils (Bandred. O. Hertwig): Die einzelligen Organismen: R. Hertwig. — Zellen und Gewebe des Tierkörpers: H. Poll. — Allgemeine und experimentelle Morphologie und Entwicklungslehre der Tiere: O. Hertwig. — Entwicklungsgeschichte und Morphologie der Wirbellosen: K. Heider. — Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere: F. Keibel. — Morphologie der Wirbeltiere: E. Gaupp.

Unter der Presse befinden sich:

Abt. I, Lfrg. 2: Die Beziehungen der Mathematik zur allgemeinen Kultur: A. Voß. — Mathematik und Philosophie: A. Voß. — Lfrg. 3: Die Verbreitung mathemat. Auffassungen und Kenntnisse: H. E. Timerding. Abt. III, 1: Physik. Bandred.: E. Warburg.

Bd. 3: Astronomie. Bandred.: J. Hartmann. Abt. IV, Bd. 4: Abstammungslehre, Systematik, Paläontologie, Biogeographie. Bandredakt.: R. v. Hertwig u. R. v. Wettstein. Abt. VII, Band 1: Naturphilosophie. Bandredakt.: C. Stumpf. Bearb. von E. Becher.

**TEIL IV: Die technischen Kulturgebiete.**

**Technik d. Kriegswesens. Mit Abb. Geh.\*) M. 24.—.** [1913. Bd. 12.]

Inhalt (Bandredakt. M. Schwartz): Kriegsvorbereitung, Kriegsführung: M. Schwartz. — Waffentechnik, a) in ihren Beziehungen zur Chemie: O. Poppenberg; b) in ihren Beziehungen z. Metallurgie: W. Schwinnig; c) in ihren Bezieh. z. Konstruktionslehre: W. Schwinnig; — d) in ihren Beziehungen zur optischen Technik: O. von Eberhard; e) in ihren Beziehungen zur Physik und Mathematik: O. Becker. — Technik des Befestigungswesens: J. Schröter. — Kriegsschiffbau: O. Kretschmer. — Vorbereitung für den Seekrieg u. Seekriegsführung: M. Glatzel. — Einfluß d. Kriegswesens auf die Gesamtkultur: A. Kersting.

**Probeheft** mit Inhaltsübersicht des Gesamtwerkes, mit Probeabschnitten, Resümées, Inhaltsverzeichnissen und Besprechungen der Bände steht umsonst zur Verfügung bei B. G. TEUBNER, Leipzig, Poststraße 3.

# Schaffen und Schauen

Dritte Auflage *Ein Führer ins Leben* Zweite Auflage

1. Band:

Von deutscher Art  
und Arbeit



2. Band:

Des Menschen Sein  
und Werden

Unter Mitwirkung von

R. Bürkner · J. Cohn · H. Dade · R. Deutsch · A. Dominicus · K. Dove · E. Fuchs  
P. Klopfer · E. Koerber · O. Lyon · E. Maier · Gustav Maier · E. v. Malzhahn  
† A. v. Reinhardt · F. A. Schmidt · O. Schnabel · G. Schwamborn  
G. Steinhäusen · E. Teichmann · A. Thimm · E. Wentscher · A. Witting  
G. Wolff · Th. Zielinski · Mit 8 allegorischen Zeichnungen von Alois Kolb

Jeder Band in Leinwand gebunden M. 5.—

**Nach übereinstimmendem Urteile** von Männern des öffentlichen Lebens und der Schule, von Zeitungen und Zeitschriften der verschiedensten Richtungen löst „Schaffen und Schauen“ in erfolgreichster Weise die Aufgabe, die deutsche Jugend in die Wirklichkeit des Lebens einzuführen und sie doch in idealem Lichte sehen zu lehren.

**Bei der Wahl des Berufes** hat sich „Schaffen und Schauen“ als ein weitblickender Berater bewährt, der einen Überblick gewinnen läßt über all die Kräfte, die das Leben unseres Volkes und des Einzelnen in Staat, Wirtschaft und Technik, in Wissenschaft, Weltanschauung und Kunst bestimmen.

**Zu tüchtigen Bürgern** unsere gebildete deutsche Jugend werden zu lassen, kann „Schaffen und Schauen“ helfen, weil es nicht Kenntnis der Formen, sondern Einblick in das Wesen und Einsicht in die inneren Zusammenhänge unseres nationalen Lebens gibt und zeigt, wie mit ihm das Leben des Einzelnen aufs engste verflochten ist.

**Im ersten Bande** werden das deutsche Land als Boden deutscher Kultur, das deutsche Volk in seiner Eigenart, das Deutsche Reich in seinem Werden, die deutsche Volkswirtschaft nach ihren Grundlagen und in ihren wichtigsten Zweigen, der Staat und seine Aufgaben, für Wehr und Recht, für Bildung wie für Förderung und Ordnung des sozialen Lebens zu sorgen, die bedeutungsvollsten wirtschaftspolitischen Fragen und die wesentlichsten staatsbürgerlichen Bestrebungen, endlich die wichtigsten Berufsarten behandelt.

**Im zweiten Bande** werden erörtert die Stellung des Menschen in der Natur, die Grundbedingungen und Äußerungen seines Leiblichen und seines geistigen Daseins, das Werden unserer geistigen Kultur, Wesen und Aufgaben der wissenschaftlichen Forschung im allgemeinen wie der Geistes- und Naturwissenschaften im besonderen, die Bedeutung der Philosophie, Religion und Kunst als Erfüllung tiefwurzelnder menschlicher Lebensbedürfnisse und endlich zusammenfassend die Gestaltung der Lebensführung auf den in dem Werke dargestellten Grundlagen.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

4900

**Dr. R. Hesse**

und

**Dr. F. Doflein**

Professor an der Landwirtschaftlichen  
Hochschule in Berlin

Professor der Zoologie an der Universität  
Freiburg i. Br.

# Tierbau und Tierleben in ihrem Zusammenhang betrachtet

2 Bände. Leg.-8.

Mit Abbildungen und Tafeln in Schwarz-, Bunt- und Lichtdruck.

**In Original-Ganzleinen geb. je M. 20.—,  
in Original-Halbfranz je M. 22.—**

**I. Band. Der Tierkörper als selbständiger Organismus.**  
Von R. Hesse. Mit 480 Abbild. u. 15 Tafeln. [XVII u. 789 S.] 1910.

**II. Band. Das Tier als Glied des Naturganzen.** Von F. Doflein. Mit ca. 500 Abbild., 8 farbigen und zahlr. schwarzen Tafeln. [Unter der Presse.]

### Aus den Besprechungen:

„Der wissenschaftliche Charakter des Werkes und die ruhige, sachliche Darstellung, die sich von allen phantastischen Abschweifungen, wie sie in der gegenwärtigen biologischen Literatur so häufig sind, freihält, verdienen volle Anerkennung. Dabei ist das Werk so klar und populär geschrieben, daß sich auf den Leser unwillkürlich die Liebe des Verfassers zu seinem Gegenstande überträgt und er sich ohne Mühe auch zu den verwickelten Einzelfragen führen läßt. Eine ungewöhnlich große Anzahl von Abbildungen erleichtert das Verständnis und bildet nicht nur einen Schmuck, sondern einen wesentlichen Bestandteil des ausgezeichneten Buches.“ (Deutsche Rundschau.)

„Man wird dieses groß angelegte, prächtig ausgestattete Werk, das einem wirklichen Bedürfnis entspricht, mit einem Gefühl hoher Befriedigung durchgehen. Es ist wieder einmal eine tüchtige und originelle Leistung. . . . Eine Zierde unserer naturwissenschaftlichen Literatur. . . . Es wird rasch seinen Weg machen. Wir können es seiner Originalität und seiner Vorzüge wegen dem gebildeten Publikum nur warm empfehlen. Ganz besonders aber begrüßen wir sein Erscheinen im Interesse des naturgeschichtlichen Unterrichts.“ (Prof. C. Keller in der „Neuen Zürcher Zeitung“.)

„. . . Der erste Band von R. Hesse liegt vor, in prächtiger Ausstattung und mit so gediegenem Inhalt, daß wir dem Verfasser für die Bewältigung seiner schwierigen Aufgabe aufrichtig dankbar sind. Jeder Zoologe und jeder Freund der Tierwelt wird dieses Werk mit Vergnügen studieren, denn die moderne zoologische Literatur weist kein Werk auf, welches in dieser großzügigen Weise alle Seiten des tierischen Organismus so eingehend behandelt. Hesses Werk wird sich bald einen Ehrenplatz in jeder biologischen Bibliothek erobern.“ (E. Plate im Archiv f. Rassen- u. Gesellschafts-Biologie.)

„Ein in jeder Hinsicht ausgezeichnetes Werk. Es vereinigt sachliche, streng wissenschaftliche Behandlung des Gegenstandes mit klarer, jedem, der in rechter Mitarbeit an das Werk herantritt, verständlicher Darstellung. Jeder wird das Buch mit großem Gewinn und trotzdem großem Genuß lesen und Einblick in den Ernst der Wissenschaft gewinnen. Das schöne Werk darf als Muster volkstümlicher Behandlung wissenschaftlicher Probleme bezeichnet werden.“ (Lit. Jahresbericht des Dürerbundes.)

**Ausführl. Prospekt vom Verlag B. G. Teubner in Leipzig**

8 - 96

S. 61

## Künstlerischer Wandschmuck für das deutsche Haus

### B. G. Teubners farbige Künstler-Steinzeichnungen

(Original-Lithographien) entsprechen allein vollwertig Original-Gemälden. Keine Reproduktion kann ihnen gleichkommen an künstlerischem Wert. Sie bilden den schönsten Zimmerschmuck und behaupten sich in vornehm ausgestatteten Räumen ebensogut, wie sie das einfachste Wohnzimmer schmücken.

Die Sammlung enthält ca. 200 Blätter der bedeutendsten Künstler, wie: Karl Banzer, Karl Bauer, O. Bauriedl, S. Beckert, Artur Bendrat, Karl Biese, H. Eichrodt, Otto Sifentischer, Walter Georgi, Franz Hein, Franz Hoch, S. Hodler, S. Kallmorgen, Gustav Kampmann, Erich Kuithan, Otto Leiber, Ernst Liebermann, Emil Orlik, Maria Ortlieb, Sascha Schneider, W. Strich-Chapell, Hans von Voltmann, H. B. Wieland u. a.



L. Dettmann

Vulkanwerft

Verkleinerte farbige Wiedergabe der Original-Lithographie.

„Von den Bilderunternehmungen der letzten Jahre, die der neuen ‚ästhetischen Bewegung‘ entsprungen sind, begrüßen wir eins mit ganz ungetrübter Freude: den ‚künstlerischen Wandschmuck für Schule und Haus‘, den die Firma B. G. Teubner herausgibt... Wir haben hier wirklich einmal ein aus warmer Liebe zur guten Sache mit rechtem Verständnis in ehrlichem Bemühen geschaffenes Unternehmen vor uns — fördern wir es, ihm und uns zu Nutz, nach Kräften!“ (Kunstwart.)

**Vollständiger Katalog** der Künstler-Steinzeichnungen mit farbiger Wiedergabe von ca. 200 Blättern gegen Einsend. von 40 Pf. (Ausland 50 Pf.) vom Verlag B. G. Teubner, Leipzig, Poststr. 3

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301679

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296125