

79 242

# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich = gemeinverständlicher Darstellungen

R. Vater

## Die neueren Wärmekraftmaschinen

I

Dritte Auflage



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig



Ein vollständiges Verzeichnis der Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“ befindet sich am Schluß dieses Bandes.





## Die Sammlung

# „Aus Natur und Geisteswelt“

verdanke ihr Entstehen dem Wunsche, an der Erfüllung einer bedeutsamen 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 schmalen, 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.

Die meist reich illustrierten Bändchen sind  
in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

**Ausführlicher illustrierter Katalog unentgeltlich.**

Leipzig.

**B. G. Teubner.**





*R. I. 79 a.*

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

21. Bändchen



Einführung in die Theorie und den Bau  
der neueren Wärmekraftmaschinen  
(Gasmaschinen)

Don

Richard Vater

Professor an der Königl.  
Bergakademie in Berlin

*IV 1810 Fg 24 I*

Mit 33 Abbildungen

Dritte Auflage





621.433

401/1

## Vorwort zur zweiten Auflage.

Die Anordnung des Stoffes ist im wesentlichen dieselbe geblieben wie bei der ersten Auflage, nur habe ich versucht, wo es sich irgend machen ließ, die Übersichtlichkeit noch weiter zu verbessern. Einige kleine Änderungen ergaben sich mit Rücksicht darauf, daß ich in dem kürzlich erschienenen Bändchen 86 dieser Sammlung („Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen“) die Kraftgaserzeuger und Großgasmaschinen, namentlich in der Form der Zweitaktmaschinen, ausführlich behandelt habe und daher in dem vorliegenden Bändchen eine knappe Behandlung dieser Kapitel für ausreichend hielt. Neu hinzugefügt wurde eine kurze Besprechung der Spiritusmaschinen, und durchgängig wurden die neuesten Erfahrungen und Betriebsergebnisse der einzelnen Maschinengattungen berücksichtigt.

Berlin, im Februar 1906.

R. Vater.

CZ-I. 401/1

## Vorwort zur dritten Auflage.

Wesentliche Änderungen sind auch bei der dritten Auflage nicht nötig geworden. Nur der Abschnitt über die Maschinen für vergaste flüssige Brennstoffe wurde mit Rücksicht auf die zunehmende Wichtigkeit dieser Maschinengattung umgearbeitet. Außerdem habe ich natürlich versucht, die neuesten Ergebnisse bezüglich Brennstoffverbrauchs bei den einzelnen Maschinengattungen zu verwerten.

Berlin, im Oktober 1908.

R. Vater.





# Inhaltsverzeichnis.

## Einleitung.

### Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

Erstes Kapitel: Grundlegende Sätze aus der Mechanik und Erklärung einiger fachtechnischer Ausdrücke . . . . . Seite 1  
Kraft (1). Arbeit (2). Kraftmaschinen (4). Leistung (5). Pferdekraft (6). Nutzpferdekraft (7). Indizierte Pferdekraft (8). Mechanischer Wirkungsgrad (9). Indikator (9). Diagramm (10). Berechnung der Maschinenleistung (15).

Zweites Kapitel: Die wichtigsten Sätze aus der mechanischen Wärmetheorie . . . . . 16  
Satz von der Erhaltung der Energie (16). Erster Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (17). Absolute Temperatur (20). Zustandsänderungen (21). Gesetz von Gay-Lussac (21). Gesetz von Boyle (Mariotte) (22). Adiabatische Zustandsänderung (24). Gesetz von Boyle-Gay-Lussac (24). Kreisprozeß (25). Thermischer Wirkungsgrad (26). Stundenpferdestärke (27). Wirtschaftlicher Wirkungsgrad (27).

## Erster Abschnitt.

### Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen über die älteren.

Erstes Kapitel: Die älteren Wärmekraftmaschinen . . . . . 29  
Dampfmaschinen (29). Dampferzeugung (32). Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine (36). Warum baut man noch Dampfmaschinen? (38). Heißluftmaschinen (39).

Zweites Kapitel: Die neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen) . . . . . 41  
Verbesserte Wärmeausnutzung (42). Wärmeausnutzung und Brennstoffbedarf bei den verschiedenen Arten von Gasmaschinen (45). Andere Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen. Möglichkeit der Verwendung als Kleinkraftmaschinen (47). Brennstoffkosten der Wärmekraftmaschinen (49). Betriebskosten der Wärmekraftmaschinen (50).

## Zweiter Abschnitt.

### Verpuffungsgasmaschinen für vergaste feste Brennstoffe.

Erstes Kapitel: Geschichtlicher Rückblick . . . . . 51  
Erste Versuche zum Bau von Gasmaschinen (51). Lenoirmaschine (52). Die atmosphärische Gasmaschine (53). Der „neue Ditto“ (56).

<b>Zweites Kapitel: Die Betriebsmittel</b> . . . . .	57
Leuchtgas (57). Kraftgas (Dowsongas) (63). Sauggeneratorgas (66). Hochofengase (67). Koks-ofengase (69). Abmessungen der Gasmaschinen bei Verwendung von Gasen geringeren Heizwertes (69).	
<b>Drittes Kapitel: Wirkungsweise der neueren Gasmaschinen</b> . .	70
Grundbedingungen für zweckmäßiges Arbeiten (70). Viertaktwirkung (73). Mängel der Viertaktwirkung (75). Erster Abschnitt des Kreisprozesses: das Ansaugen (77). Zweiter Abschnitt: das Verdichten (78). Dritter Abschnitt: Zündung und Verpuffung (81). Vierter Abschnitt: Auspuff (82). Zweitaktmaschine (82).	
<b>Viertes Kapitel: Der Aufbau der Gasmaschine</b> . . . . .	84
Allgemeiner Aufbau (84). Steuerung (88).	
<b>Fünftes Kapitel: Die Gasmaschine im Betrieb</b> . . . . .	90
Die Zündung (90). Die Regulierung (94). Regulierung durch Ausseher (95). Regulierung durch Gemischänderung (99). Änderung der Gemischmenge (100). Verschlechterung des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung (100). Beschreibung einer Gasmaschine (103). Ingangsetzen oder Anlassen der Gasmaschinen (103). Anlaßvorrichtungen (105).	
<b>Sechstes Kapitel: Zubehörteile zur Gasmaschine</b> . . . . .	106
Gasuhr (106), Druckregler (106). Gummibbeutel (107). Allgemeine Anordnung der Vorrichtungen (108). Ansaugetopf (109). Auspuffstopf (109).	

### Dritter Abschnitt.

### Verpuffungsgasmaschinen für vergaste flüssige Brennstoffe.

<b>Erstes Kapitel: Allgemeines</b> . . . . .	110
<b>Zweites Kapitel: Die Betriebsmittel</b> . . . . .	112
Petroleum und Benzin (112). Benzol (114). Paraffinöl (114). Spiritus (115).	
<b>Drittes Kapitel: Die Maschinen</b> . . . . .	115
Benzin- und Benzolmaschinen (115). Zerstäubervorrichtungen (116). Petroleummaschinen (119). Uebelstände der gewöhnlichen Petroleummaschinen (124). Spiritusmaschinen (126).	

### Vierter Abschnitt.

### Gasmaschine mit langsamer Verbrennung (Dieselmaschine).

Allgemeines (129). Hohe Verdichtung (129). Arbeitsweise (130). Wärmeverbrauch bei sinkender Leistung (132). Einzelheiten der Maschinen (133). Anlassen (134). Die zum Betriebe geeigneten Brennstoffe (135). Uebelstände der Dieselmachine (136).	
<b>Schluß: Warum baut man noch Dampfmaschinen?</b> . . . . .	138
<b>Sachregister</b> . . . . .	141





## Einleitung.

# Einführung in die allgemeine Theorie der Kraftmaschinen.

### Erstes Kapitel.

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

Kraft. Arbeit. Kraftmaschinen. Leistung. Pferdekraft. Nutzpferdekraft. 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 bewegendes 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.

Ist ein Pendel, das vorher in Bewegung war, zur Ruhe gekommen, oder ist ein Wagen, der einen Abhang herunterrollte, unten stehen geblieben, so hört man gewöhnlich sagen: „er ist von selber stehen geblieben“. 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 äußer-

lich 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 Kubikdezimeters (eines Liters) reinen Wassers, dessen Temperatur  $4^{\circ}\text{C}$  beträgt. Sagt man also, ein Arbeiter habe vermittels 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 Gewichts. Ein solches Gewicht wirkt ja nun allerdings nur in senkrechter Richtung nach abwärts, aber es ist doch auch leicht einzusehen, daß man etwa vermittels 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 vermittels 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 vermittels eines Flaschenzuges, das heißt vermittels 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. So läßt sich z. B., wenn von Reibungs- und sonstigen Verlusten abgesehen wird, unter Aufwendung derselben Kraft vermittels 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 sechsrolligen Flaschenzuges 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 Flaschenzuges 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 (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 zweirolliger 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 zweirolligen 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 Anwendung 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 Wasser-



kräften ist die Größe der Wasserkraftmaschinen eine beschränkte. Bei den Wärmekraftmaschinen dagegen liegt die Kraftquelle in Brennstoffen verborgen, die überallhin 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 (secmkg). Man versteht also z. B. unter einer Leistung von 20 secmkg 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 u. s. w. 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.

Rehren wir noch einmal zurück zu dem früher besprochenen Beispiele von dem Herausziehen 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 secmkg. 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 secmkg. 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 dienige 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 Sekundenmeterkilo-



gramms zu klein, daß 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  $10 \times 75 \text{ kg } 1 \text{ m}$  hoch oder  $10 \times 1 \text{ kg } 75 \text{ m}$  hoch zu heben uff.

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 so und so viele Pferdekräfte. Es verdient dabei übrigens hervorgehoben zu werden, daß nur die wenigsten Pferde imstande sind, 1 PS, das heißt 75 secmkg, wirklich eine einigermaßen 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 auf eine kurze Zeit. Denken wir uns z. B. den Fall, daß ein Mann, dessen Gewicht mit Kleidung gerade 75 kg beträgt, eine Treppe rasch hinaufläuft. Eine Treppstufe hat etwa die Höhe von 17 cm; nun ist es für einen gewandten Menschen kein allzu großes Kunststück, beim Hinaufstürmen 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.

**Ruhsperdekraft.** Es sind nun noch zwei Ausdrücke zu erläutern, welche in der Technik gerade bei Kraftmaschinen sehr viel angewendet werden: die Ausdrücke effektive oder Ruhsperdekraft und indizierte oder aufgezeichnete Pferdekraft. Unter effektiver



oder Nutzpferdekraft versteht man, wie das in dem Worte selbst zum Ausdrucke 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, ( $100 \text{ PS}_n$ ), so heißt das: vermittels dieser Dampfmaschine sind wir imstande ein Gewicht von  $100 \times 75 \text{ kg}$  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 ( $1 \text{ PS}_n$ ) zu erreichen, und er wird im allgemeinen diejenige Dampfmaschine für die beste erklären, welche dafür den geringsten Verbrauch an Dampf oder an Kohlen verlangt.

**Indizierte Pferdekraft.** Für den Erbauer einer Kraftmaschine kommt aber noch eine zweite Größe in Betracht, nämlich die Anzahl der indizierten Pferdestärken ( $\text{PS}_i$ ), 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 gänzlich 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,  $1 \times 3000 = 3000 \text{ mkg}$ . 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  $1 \times 3000 = 3000 \text{ secmkg}$ , oder, da 75 secmkg nach unserer Erklärung 1 PS sind,  $3000 : 75 = 40 \text{ PS}$ . 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>).

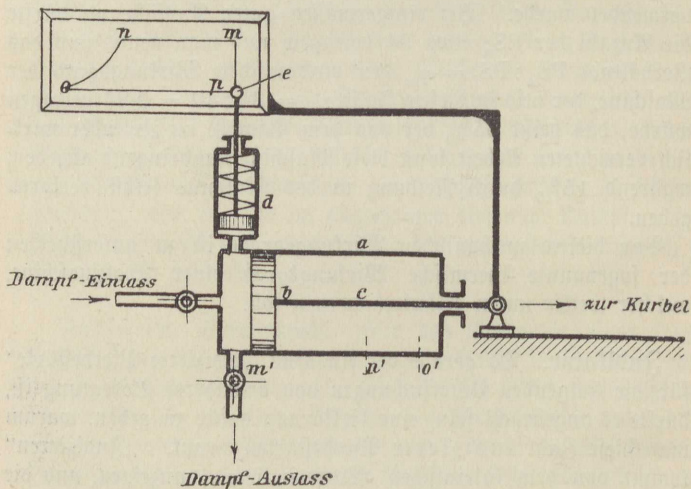
**Mechanischer Wirkungsgrad.** Die Anzahl der PS<sub>n</sub>, welche eine solche Maschine von 40 PS<sub>i</sub> abzugeben imstande ist, kann verschieden sein, je nach der Sorgfalt, welche beim Bau der Maschine verwendet wurde. Bei einigermaßen guter Ausführung dürfte die Anzahl der PS<sub>n</sub> etwa 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 verrichteten 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 (a. f. S.) erläutert.

Es sei *a* der Zylinder, *b* der Kolben, *c* die Kolbenstange 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 Kolbenstange in einen Schreibstift *e* endigt. An der Kolbenstange des großen Kolbens ist in geeigneter Weise eine Schreibtafel befestigt, welche sich mit der großen Kolbenstange, also auch mit dem großen Kolben hin und her bewegt. Läßt man in den Zylinder Dampf einströmen, so drückt der Dampf auf beide Kolben, die Feder oberhalb des kleinen

Kolbens wird zusammengedrückt und der Schreibstift beschreibt, wenn wir uns den großen Kolben für einen Augenblick festgehalten denken, eine senkrechte Linie  $pm$ . Lassen wir den großen Kolben los, so wird er durch den Dampf nach vorwärts getrieben, die Schreiftafel wird nach rechts bewegt, der Schreibstift beschreibt zunächst die Linie  $mn$ , welche dem vom Kolben durchlaufenen Weg  $m'n'$  entspricht. In diesem Augenblicke möge der Dampf abgesperrt werden. Der sich ausdehnende Dampf bewegt den großen Kolben und damit die Schreiftafel nach rechts, seine



266. 1.

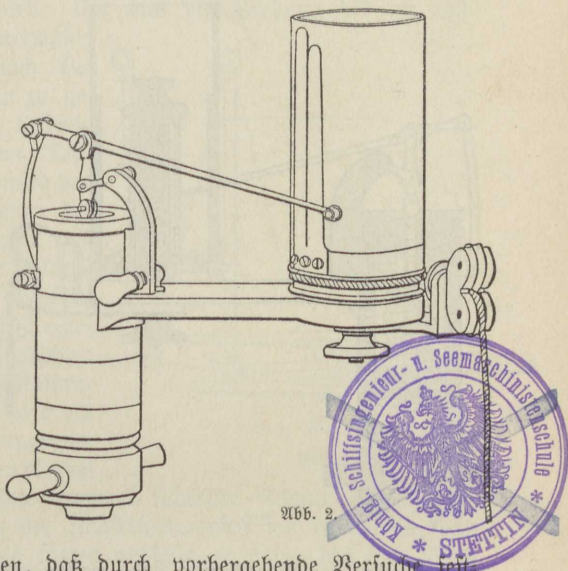
Spannung wird geringer, der kleine Kolben sinkt allmählich wieder durch den Druck der Spiralfeder und es wird auf diese Weise von dem Schreibstifte die Linie *no* beschrieben, welche dem Wege *n'o'* des großen Kolbens entspricht. Jetzt wird die Dampfauslaß-Vorrichtung geöffnet und während dann, etwa 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 *pmnop* 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 qem 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 Dampfseinströmung abgewendete Kolbenseite in unserem Falle mit der Außenluft in Verbindung stehend gedacht ist, 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



266. 2.

eine Arbeit verrichtet von  $1000 \times 0,01 = 10$  mkg. Wir sehen demnach, daß jedem Quadratcentimeter Flächeninhalt des Diagrammes eine Arbeit von 10 mkg entspricht. Die im ganzen von dem Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtete Arbeit wird sich also bei unseren Annahmen 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,

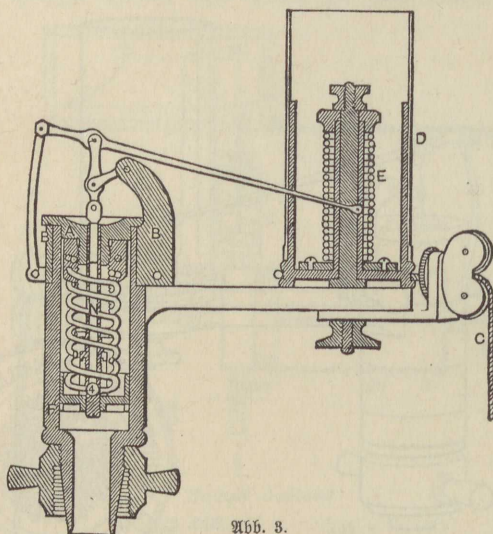


Abb. 3.

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<sub>i</sub>. Eine

andere Art der Berechnung siehe weiter unten S. 15.

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.

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 Anziehen und Nachlassen eine Drehung der Trommel bewirkt wird. Um nun die Drehung der an und für sich schon verhältnismäßig kleinen Trommel nach Belieben groß oder klein zu gestalten, und dadurch beliebig längere oder kürzere Diagramme zu erhalten, wird das Anziehen und Nachlassen der erwähnten Schnur nicht von dem Kolben oder der Kolbenstange unmittelbar bewirkt, sondern z. B. vermittelt einer durch Abb. 4 veranschaulichten Vorrichtung: durch die Kolbenstange der Maschine wird ein um den Punkt *A* schwingender Hebel bewegt, an dessen oberem

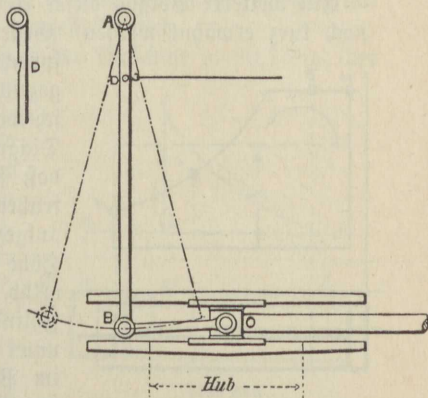


Abb. 4.

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 Indikatorfolben 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 Indikatorfolbens 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 be-

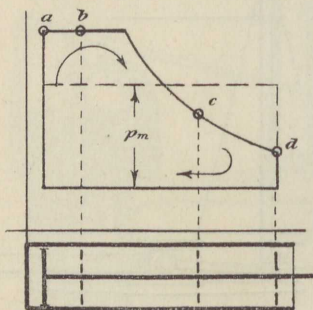


Abb. 5.

sprochenen Indikatorvorrichtung 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 Punkt *b* entspricht dem Drucke im Zylinder bei der Kolbenstellung

unter *b* usw. Diese Art der Darstellung ist aber offenbar die bequemere, da man, wenn die wagerechte Länge des Diagramms den Kolbenhub darstellt, durch 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 sich aber auch eines wesentlich einfacheren Verfahrens bedienen. Stellt Abb. 5 ein von einem solchen Indikator aufgezeichnetes Dampf diagramm 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 und der Höhe  $p_m$  (siehe die Abbildung). Die Länge dieses 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“

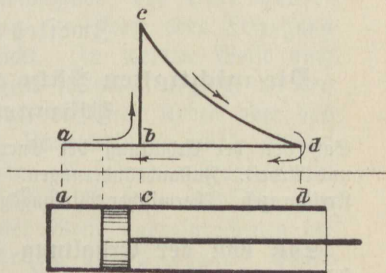


Abb. 6.

$p_m = \frac{2}{0,5} = 4$  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 Kolben-seite ein solches Diagramm beschrieben, während die andere Kolben-seite 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<sub>i</sub>.

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. Der durch das obenstehende 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 des Kolbenhubes  $d$ , wobei ihre Spannung allmählich abnimmt. Hierauf wird der Kolben wiederum durch die Kraft des Schwungrades zurückgetrieben und stößt dabei die verbrannten Gase ohne jede Spannung 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 Fächer aus der mechanischen Wärmetheorie.

Satz von der Erhaltung der Energie. Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit. Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Boyle. Kreisprozeß. 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 ausgesprochen und bewiesen wurde, den Satz, daß Wärme und Arbeit äquivalent, das heißt gleichwertig seien, mit andern Worten, daß mit einer bestimmten Wärmemenge sich immer eine ganz bestimmte Menge mechanischer Arbeit und umgekehrt, daß sich durch eine gegebene Menge mechanischer Arbeit stets eine ganz bestimmte Wärmemenge erzeugen lasse.

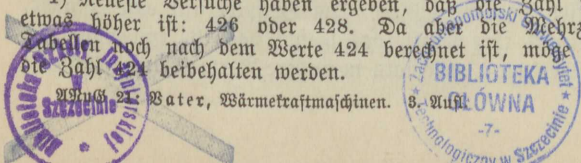
Für die mechanische Arbeit hatten wir früher (S. 3) das mkg als Einheit gefunden; als Einheit der Wärmemenge bezeichnet man in der Physik diejenige Wärmemenge, welche einem Kilogramm reinen Wassers von  $0^{\circ}\text{C}$  zugeführt werden muß, um dessen Temperatur auf  $1^{\circ}\text{C}$  zu erhöhen 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 Versuche und Rechnung auf 424<sup>1)</sup> festgestellt —, nennt man das mechanische Wärmeäquivalent (den mechanischen Wärmewert), den umgekehrten Wert 1:424, 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 424 mkg und umgekehrt durch Aufwendung einer Arbeit von 1 mkg immer eine Wärmemenge von 1:424 WE erzeugen läßt.

Der Satz zeigt, daß es unrichtig oder wenigstens ungenau ist, wenn man, z. B. bei Kraftmaschinen, von einer Kraft-erzeugung 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 andern 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. 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 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 ent-

1) Neueste Versuche haben ergeben, daß die Zahl wahrscheinlich etwas höher ist: 426 oder 428. Da aber die Mehrzahl größerer Tabellen noch nach dem Werte 424 berechnet ist, möge im folgenden die Zahl 424 beibehalten werden.



stehen, 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 Luftsaurestoffes.

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, 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 hochgespannten 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, durch welche die Kugel geflogen ist, 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 in irgend einer anderen Form von Arbeitsvermögen übertragen. So zerstreut sich also zwar das Arbeitsvermögen, welches durch das Entzünden des Pulvers im Gewehrlaufe 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.

Verdichtet man ein in einem Zylinder eingeschlossenes Gas (z. B. Luft), indem man einen dichtschießenden 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 überwinden, 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 erst dann ein, wenn die Temperatur den sogenannten absoluten Nullpunkt erreicht hat, eine Temperatur, welche  $273^{\circ}$  unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegt. 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 Vermehrung, 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 (Wärmegraden), 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)  $t = 300 - 273 = 27^{\circ}\text{C}$ .

**Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Boyle.** Denken wir uns 1 kg irgendeines Gases in einem Zylinder ein-

geschlossen, 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 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 Wärme zugeführt, so steigt 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 die Spannungen (bei gleichbleibendem Volumen) 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 Kolben festgehalten denken, so beschreibt der Indikator, 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. Auch hier sagt das Gay-Lussac'sche Gesetz, 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 Wärmezurückziehung, findet natürlich der umgekehrte Fall statt.

Der Indikator beschreibt, da die Spannung dieselbe bleibt, der Kolben aber vorwärts schreitet, eine gerade, wagrechte 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 um das 2, 3, 4 ... fache gewachsen, so hat sich die anfängliche Spannung des Gases um das 2, 3, 4 ... fache vermindert.

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 vermittels 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 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 ge-

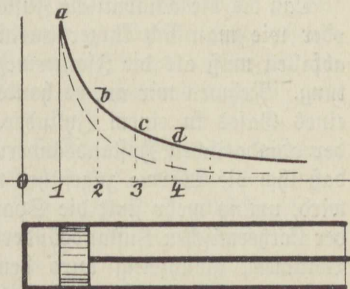


Abb. 7.

sunken, 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  $a b c \dots$  gibt dann also die Gestalt der isothermischen Kurve und man kann durch einfaches Hinaustragen 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). Auch 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 die 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 und Volumen, 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 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 ebenbesprochenen Beispiele, in seinen Anfangszustand zurückkehrt, so sagt man, das Gas habe einen Kreisprozeß durchlaufen und es ist, z. B. an Hand des ebenbesprochenen Beispiels der 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 sofort noch etwas anderes: Wenn wir fort dauernd 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 Ebenge sagte erläutern. Wir wollen uns (Abb. 8 a. f. S.) 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

führt



tisch 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 durch die von

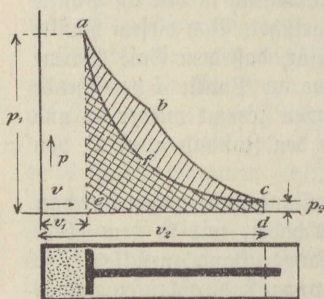


Abb. 8.

links nach rechts gestrichelte Fläche  $edfae$  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.

Es könnte so scheinen, als ob die eben angestellten Betrachtungen

eine Einschränkung des früher (S. 17) angeführten ersten Hauptsatzes darstellen, des Satzes nämlich, daß sich mit 1 WE stets eine Arbeit von 424 mkg erreichen lasse. Diese Einschränkung ist natürlich nur scheinbar. Bleiben wir bei dem ebenbesprochenen 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, 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.

**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 obenerwähnten 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 jedoch gewöhnlich auf einem kleinen Umwege einfach dadurch, daß man aus dem Indikatorgramm 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  $\eta_t$  bezeichnet werden.

Ein Beispiel wird diese Betrachtung erklären. Es liege eine Gasmaschine vor, deren indizierte Leistung 10 PS<sub>i</sub> und deren stündlicher Leuchtgasverbrauch für jede PS<sub>i</sub> 0,5 cbm beträgt. Nimmt man an, daß 1 cbm Leuchtgas bei vollkommener Verbrennung im Mittel etwa 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  $75 \times 60 \times 60 = 270000$  mkg, oder, da immer 424 mkg einer Wärmeeinheit gleichwertig sind, eine Wärmemenge von  $270000 : 424 = 637$  WE. Aufgewendet wurden nun 2500 WE, in Arbeit wurden umgesetzt 637 WE, mithin würde der thermische Wirkungsgrad in diesem Falle  $\eta_t = \frac{637}{2500} = 0,254$  sein. Mit anderen Worten: nur etwa 25% der zugeführten Wärmemenge werden in Arbeit umgesetzt, während nahezu 75% unbenutzt 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

$$\begin{aligned}\eta_w &= \eta_t \cdot \eta_m \\ &= 0,254 \cdot 0,8, \\ &= 0,2032,\end{aligned}$$

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 ebenbesprochene 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

$$\begin{aligned}\eta_w &= \frac{637}{0,625 \cdot 5000} = \frac{637}{3125} \\ &= 0,2032.\end{aligned}$$



## Erster Abschnitt.

### Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen über die älteren.

#### Erstes Kapitel.

##### Die älteren Wärmekraftmaschinen.

**Dampfmaschinen.** 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 ohne Zweifel 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 Ge-

stalt sowohl als Schiffsmaschine wie als Lokomotive Verkehr und Handel in großartigster Weise zum Aufblühen brachte, mit ihrer Hilfe durchreisen 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, abzuwenden 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. Jener treue, langjährige Freund, er hat so manche üblen Eigenschaften, die man früher mit seinen vielen guten Eigenschaften mit in Kauf nahm, in Kauf nehmen mußte, weil man eben nichts Besseres hatte, und die man auch heute zum größten Teile mit in Kauf nimmt, weil eben die guten Eigenschaften doch noch sehr überwiegen.

Gehe der Dampf in der Dampfmaschine zur Wirkung gelangt, das heißt ehe er das ihm innewohnende Arbeitsvermögen in nutzbare Arbeit umwandelt, wird er in geeigneter Weise, zeitlich und örtlich getrennt, in besonderen Gefäßen erzeugt, die man Dampfkessel nennt, und deren Gestalt, im allgemeinen zylindrisch, doch eine außerordentliche Mannigfaltigkeit besitzen kann. Erhitzen wir Wasser in diesem Gefäße, so wird zunächst die Temperatur des Wassers so lange gesteigert, bis sie unter gewöhnlichen Verhältnissen, das heißt bei mittlerem Barometerstande, eine Höhe von  $100^{\circ}\text{C}$  erreicht hat. In diesem Augenblicke beginnt die Dampfbildung, das heißt: das Wasser beginnt von der flüssigen in die luftförmige Form überzugehen, oder wie man sagt: das Wasser geht von dem flüssigen in den luftförmigen Aggregatzustand über.

Nehmen wir an, der Dampfkessel sei ein geschlossenes Gefäß, welches etwa bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist; wir wollen ferner annehmen, es seien an geeigneten Stellen Thermometer angebracht, auf welchen wir die jeweilig herrschenden Temperaturen sowohl innerhalb als außerhalb des eigentlichen Wasserraumes ablesen können. In dem Augenblicke, in welchem die Dampfbildung beginnt, zeigt das im Wasser befindliche Thermo-

meter  $100^{\circ}$ . Führen wir noch weiter Wärme zu, so bemerken wir zunächst keine weitere Steigerung der Temperatur. Das muß auffallen, denn nach dem Satze von der Erhaltung der Energie kann die zugeführte Wärme nicht verloren gehen. Sie ist auch nicht verloren gegangen, sondern sie wurde zu einer Arbeitsleistung verwendet, nämlich zu der Arbeit, welche notwendig ist, um das Wasser von  $100^{\circ}$  in Dampf von  $100^{\circ}$  überzuführen. Hierzu ist eine beträchtliche Arbeit, das heißt eine ganz beträchtliche Wärmemenge erforderlich, welche mehr als das Fünffache derjenigen Wärmemenge beträgt, welche notwendig ist, um das Wasser von  $0^{\circ}$  auf eine Temperatur von  $100^{\circ}$  zu bringen.<sup>1)</sup> Denken wir uns die Verdampfung in einem offenen Gefäße vorgenommen, so gehört zunächst, wie wir wissen (vgl. S. 16), 1 WE dazu, um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  auf  $1^{\circ}$  zu erwärmen, es gehören also 100 WE dazu, um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  auf  $100^{\circ}$  zu bringen. Um nun aber 1 kg Wasser von  $100^{\circ}$  vollständig in Dampf von  $100^{\circ}$  überzuführen, braucht man nicht weniger als 537 WE, mit anderen Worten eine Wärmemenge, welche nach unseren früheren Betrachtungen dazu genügen würde, um eine Arbeit von  $537 \times 424 = 227\,688$  mkg zu verrichten. Da sich diese Wärmemenge in gewöhnlicher Art, das heißt vermittels eines Thermometers nicht nachweisen läßt — das Thermometer würde immer nur  $100^{\circ}$  zeigen —, so nennt man diese Wärmemenge eine verborgene oder mit einem lateinischen Ausdrucke latente Wärme und sagt also: die latente Wärme des Dampfes von  $100^{\circ}$  betrage 537 WE. Daß diese Wärmemenge (man nennt sie in der Wärmetheorie auch die Verdampfungswärme des Wassers) nicht verschwunden, sondern wirklich nur sozusagen in dem Dampf verborgen ist, läßt sich leicht beweisen. Würden wir zum Beispiel diesen Dampf von  $100^{\circ}$  mit kaltem Wasser in Berührung bringen, so würde er sich sofort wieder zu Wasser verdichten, die verborgene oder latente Wärme würde wieder zum Vorschein kommen und würde ihr Vorhandensein dadurch beweisen, daß sie auf das kalte Wasser überginge und

1) Daß zu einer solchen Veränderung des Aggregatzustandes wirklich Arbeit notwendig ist, ergibt sich zum Teil schon aus der einfachen Überlegung, daß z. B. 1 l Wasser, unter gewöhnlichem Luftdrucke in Dampf verwandelt, einen Raum von ungefähr 1660 l einnimmt; der Dampf muß sich also Raum schaffen und dazu etwa 1659 l Luft verdrängen, was nur unter Aufwendung von Arbeit möglich ist.



dieses Wasser um so viel Wärmeeinheiten erwärmte, als zur Erzeugung des Dampfes einschließlich seiner latenten Wärme nötig waren.

Auf dieser latenten Wärme, das heißt auf diesem großen Wärmespeichervermögen des Dampfes beruht, wie nebenbei bemerkt sei, die Wirkung unserer Dampfheizungen und Dampfstocheinrichtungen. Der in Röhren befindliche Dampf verdichtet sich zu Wasser (man sagt: er kondensiert) und gibt dabei an seine Umgebung die ihm innewohnende latente Wärme ab, welche zum Heizen von Wohnräumen, zum Kochen und dergleichen wieder verwendet werden kann.

Kehren wir zurück zu dem Vorgange der Dampferzeugung in dem geschlossenen, halb mit Wasser gefüllten Dampfkessel. Man sagt, der Dampf von  $100^{\circ}$  habe eine Spannung von 1 atm, das heißt in unserem Falle: der Druck, den dieser Dampf auf jeden Quadratcentimeter der Kesselwandung ausübt, ist gerade so groß, wie der auf die Außenseite wirkende Druck der Außenluft (Atmosphäre), welcher, wie früher erwähnt, ungefähr gerade 1 kg für den Quadratcentimeter beträgt. Ist der ganze nicht mit Wasser gefüllte Raum des Kessels mit Dampf von  $100^{\circ}$  erfüllt, so bewirkt die weitere Verdampfung des Wassers, da der Kessel nach außen abgeschlossen ist, eine Spannung des Dampfes: es entsteht Druck. Gleichzeitig bemerken wir an dem Thermometer, daß die Temperatur des Wassers sich über  $100^{\circ}$  erhebt. Steigt dann z. B. durch fortgesetzte Verdampfung der Druck im Kessel auf eine Höhe, welche doppelt so groß ist als der Druck der Außenluft (man sagt in diesem Falle, der Dampf habe eine Spannung von 2 atm absolut oder eine Spannung von 1 atm Überdruck), so steigt die Temperatur des Wassers auf  $120^{\circ}$ . Wir sehen also, daß das Wasser, wenn es unter einem Drucke steht, welcher höher ist als der der Außenluft, auf mehr als  $100^{\circ}$  erhitzt werden muß, um sich in Dampf zu verwandeln. Umgekehrt verdampft das Wasser schon bei Temperaturen unter  $100^{\circ}$ , wenn ein niedrigerer Druck als der der Außenluft bei gewöhnlichem Barometerstande auf ihm lastet. So dürfte es bekannt sein, daß auf hohen Bergen, wo der Druck der Luft geringer ist als in der Ebene, das Wasser schon bei Temperaturen unter  $100^{\circ}$  zum Sieden kommt und zwar je eher, je höher die Berge sind, ja unter der Glocke einer Luftpumpe kann man sogar bei sehr weit gehender Luftverdünnung eine Schale mit Wasser schon bei gewöhnlicher Zimmertemperatur zum Sieden bringen.

In dem Dampfkessel steigt also, wie wir gesehen hatten, bei fortgesetzter Verdampfung die Dampfspannung und mit ihr die Temperatur des Wassers. Dagegen nimmt nun aber die Verdampfungswärme des Wassers ab, oder mit anderen Worten: Wasser von  $120^{\circ}$ ,  $130^{\circ}$  usw. ist verhältnismäßig leichter geneigt sich in Dampf zu verwandeln als Wasser von  $100^{\circ}$ . Die nachfolgende Zusammenstellung gibt in abgerundeten Zahlen die Temperaturen, Spannungen und Verdampfungswärmen von Dampf verschiedener Spannung:

Spannung	1	2	3	4	5	6	atm
Temperatur	100	120	133	143	151	158	Grad
Verdampfungswärme	537	522	513	506	500	495	WE
Gesamtwärme	637	642	646	649	651	653	WE

Die Betrachtung dieser Zusammenstellung lehrt uns unter anderem auch, warum das Bersten eines Dampfkessels so außerordentlich gefährlich ist, ungleich gefährlicher z. B. als das Bersten eines Kessels, welcher mit verdichteter Luft oder mit Preßwasser von derselben Spannung gefüllt ist. Nehmen wir z. B. einen Kessel mit 6 atm Druck an. Wie unsere Zusammenstellung zeigt, besitzt das Wasser bei dieser Spannung eine Temperatur von  $158^{\circ}$ , also eine Temperatur, bei welcher es unter dem Drucke der gewöhnlichen Außenluft schon längst in Dampf verwandelt wäre. Bekommt nun der Kessel durch das Zerplatzen eines Rohres oder das Reißen einer Platte u. dgl. eine Öffnung nach außen, so entweicht der Dampf, und der Druck im Kessel fällt ganz plötzlich auf die Spannung der Außenluft. Damit verwandelt sich aber auch die ganze in dem Kessel befindliche, auf  $158^{\circ}$  erhitzte Wassermenge in Dampf und zwar mit einer solchen Geschwindigkeit, daß der Dampf nicht mehr durch die entstandene Öffnung entweichen kann, sondern sich mit furchtbarer Gewalt Freiheit verschafft, indem er den ganzen Kessel auseinandersprengt.

Zählt man die Angaben der zweiten und dritten wagerechten Spalte in der obenstehenden Zusammenstellung zusammen, so erhält man, da (für 1 kg Dampf) einer Temperatur von  $100^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$  usw. ungefähr gerade eine aufzuwendende Wärmemenge von 100, 120 usw. WE entspricht, diejenige Anzahl Wärmeeinheiten (man nennt sie die Gesamtwärme des Dampfes), welche nötig ist, um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  in Dampf von  $100^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ ,  $133^{\circ}$  usw. zu verwandeln.



Man erkennt aus der obigen Zusammenstellung leicht, daß diese Zahlen der Gesamtwärme nur sehr langsam und unbedeutend zunehmen, mit anderen Worten: daß man fast mit derselben Wärmemenge entweder 1 kg Dampf von einer atm oder auch 1 kg Dampf von 6 atm Spannung erzeugen kann. Da es aber nun leicht ersichtlich ist, daß ein auf eine bestimmte Fläche, z. B. auf einen Kolben drückender Dampf von höherer Spannung auch eine größere Kraft auszuüben vermag als Dampf von niedrigerer Spannung, oder umgekehrt, daß zur Erzeugung einer bestimmten Kraft der Kolben um so kleiner sein kann, je höher die Dampfspannung ist, welche auf ihn drückt, so erklärt dieser Umstand schon, warum man in neuerer Zeit die Dampfspannungen so hoch nimmt, als es aus Ausführungsrückichten irgend möglich ist.

Der in dem Dampfkessel erzeugte Dampf wird nun in den Dampfzylinder geleitet und gibt hier seine Wärme, das heißt sein Arbeitsvermögen ab, indem er einen Kolben vor sich her schiebt, dessen hin- und hergehende Bewegung in geeigneter Weise zur Abgabe von Kraft oder Arbeit verwendet wird. Diese Arbeitsabgabe des Dampfes geschieht dabei so, daß der Dampf nur während eines verhältnismäßig kleinen Teiles des Kolbenweges in den Zylinder einströmt, dann wird der Dampfzutritt zum Zylinder abgesperrt (vgl. S. 10), der Dampf dehnt sich aus, seine Spannung und damit seine Temperatur werden damit geringer, und diese scheinbar verschwindende Wärme ist es, welche in dem Dampfzylinder in Arbeit umgesetzt wird. Natürlich wird man bestrebt sein, die Ausdehnung des Dampfes möglichst weit zu treiben, das heißt: man wird bestrebt sein, möglichst viel von der in dem Dampf enthaltenen Wärme in Arbeit umzusetzen. Zu diesem Zwecke kann man einmal den Dampf seine Spannung so weit erniedrigen lassen, bis sie dem Druck der Außenluft gleich ist, und kann dann diesen Dampf von Außenluftspannung ins Freie entweichen oder, wie man sagt, auspuffen lassen. Man erhält auf diese Weise Maschinen, gewöhnlich *Auspuffmaschinen* genannt, welche sich durch verhältnismäßige Einfachheit auszeichnen.

Ein anderer Weg ist der, daß man den Dampf sich noch weiter ausdehnen, und ihn dann nicht in die freie Luft, sondern in einen stark gekühlten Raum ausströmen läßt (in den sogenannten *Kondensator*), wo durch schnelle Verdichtung des Dampfes der Druck noch weit unter den Druck der Außenluft herabgezogen wird (*Kondensationsmaschinen*). Je stärker der Raum



gekühlt ist, entweder durch eingespritztes kaltes Wasser oder durch starke Abkühlung der Wände, um so niedrigerer wird der Druck; er beträgt zum Beispiel, wenn sich das eingespritzte Wasser durch die Verdichtung des Dampfes auf etwa  $50^{\circ}$  erwärmt, nur noch ungefähr  $\frac{1}{11}$  atm. Dadurch ist aber auf der anderen Seite des Kolbens der von dem frischen Dampfe ausgeübte Überdruck um  $\frac{10}{11}$  atm vergrößert worden, so daß hieraus ersichtlich ist, daß durch starke Verdichtung (Kondensation) des Dampfes die Wirkung der Dampfmaschine erhöht wird. Das aus dem verdichteten Dampfe entstehende Wasser kann dann wiederum zur Kesselspeisung verwendet werden, wozu es sich wegen seiner ihm immer noch innewohnenden verhältnismäßig hohen Temperatur, sowie auch wegen seiner Reinheit (es ist meist frei von Kesselsteinbildenden Salzen) besonders gut eignet, und man kann auf diese Weise das Wasser oder den Dampf einen fortwährenden Kreislauf durchmachen lassen.

Bei oberflächlicher Betrachtung sieht es nun so aus, als wenn dieser ganze Vorgang an Vollkommenheit nichts zu wünschen übrigließe: Das Wasser wird in Dampf verwandelt, der Dampf gibt seine Wärme und damit sein Arbeitsvermögen zum größten Teil an den Kolben der Dampfmaschine ab und der Rest des Arbeitsvermögens gelangt wiederum als Wärme in den Kessel, wo der Kreislauf von neuem beginnt. Sieht man jedoch näher zu, so muß man sehr bald zugeben, daß der ganze Vorgang der Wärmeausnutzung nicht nur sehr viel, sondern fast möchte man sagen: alles zu wünschen übrigläßt. Sehr bald sieht man ein, daß hier eine jener üblen Eigenschaften der Dampfmaschine vorliegt, von denen oben gesprochen wurde, und zwar auch gleich die allerschlimmste, 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 hoch entwickelte, jahrhundertalte 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 Verbrennungswärme, das heißt deren Wärmeentwicklung bei vollständiger Verbrennung, im Mittel etwa 7500 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 Seitenkante!) ließe sich, wenn es möglich wäre, die ganze Wärme in Arbeit umzusetzen, nach dem Satze von der Erhaltung der Energie eine Arbeit von  $424 \times 7500 = 3180000$  mkg verrichten. Sehen wir zu, wie viel 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 Nutzpferdestärke verbraucht. Eine Std-PS („Stundenpferdestärke“) entspricht aber, wie wir 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  $\frac{270000}{424} = 637$  WE. Um diese Arbeit in der Dampfmaschine zu erzeugen, wurden aber 5 kg Kohle verbrannt mit einer Wärmentwicklung von  $5 \times 7500 = 37500$  WE, das heißt: es beträgt der wirtschaftliche Wirkungsgrad dieser Klasse von Dampfmaschinenanlagen

$$\eta_w = \frac{637}{37500} \\ = 0,0171$$

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 0,6 kg Kohle für jede Std-PS<sub>n</sub>; führt man nun die Rechnung in derselben Weise durch, wie eben geschehen, so ergibt sich ein wirtschaftlicher Wirkungsgrad

$$\eta_w = 0,142,$$

das heißt: selbst hier werden nur etwa 14% der zugeführten Wärme wirklich in nutzbringende Arbeit umgesetzt, während 86% für die Ausnutzung verloren sind!



Diese Rechnungen sind auch geeignet zu zeigen, von welcher hervorragender Wichtigkeit die Grundsätze der „Mechanischen Wärmetheorie“, d. h. 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 Wärmeverräten treiben, sie zeigen, daß wir bei der Ausnutzung dieser Wärmeverräte 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 allerneuesten Wärmekraftmaschinen allein dieser Erkenntnis entsprungen, ihre Erfindung ist eine unmittelbare Folge der Auffindung der Gesetze der mechanischen Wärmetheorie.

Der Grund für die außerordentlich 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 Krafterzeugung 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, wie oben gezeigt wurde, allmählich seine Spannung und damit seine Temperatur und entweicht schließlich als Dampf von 1 atm aus dem Zylinder ins Freie. Dieser Dampf enthält nun aber neben der seiner Temperatur von 100° entsprechenden Wärme noch seine gesamte Verdampfungswärme, d. h. 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 Wärmeausnutzung ergibt.

Etwas besser ist in dieser Beziehung die auf Seite 34 erwähnte Kondensationsmaschine, jedoch geht auch hier der größte Teil der mit dem Dampfe aus dem Zylinder entweichenden Wärme, also namentlich der weitaus größte Teil der Verdampfungswärme für die Umsetzung in Arbeit unwiederbringlich verloren.<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 Ausnutzung in der Dampfmaschine gar nichts zu tun, für die Ausnutzung in der Dampfmaschine, das heißt für die Umsetzung in Arbeit, ist diese Wärme, wie schon erwähnt, verloren.

Mit der schlechten Wärmeausnutzung sind aber die üblen Eigenschaften der Dampfmaschine keineswegs erschöpft. Schon die Betrachtung auf Seite 36 zeigte, daß die an und für sich schon schlechte Wärmeausnutzung 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 Unständlichkeit 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, wobei dann wieder starke Wärmeverluste, das heißt Geldverluste, unvermeidlich sind.

Die Frage liegt nahe: warum baut man denn eigentlich heutzutage noch Dampfmaschinen? Die genaue Beantwortung dieser Frage kann allerdings erst später gegeben werden, wenn die

1) Genaueres hierüber siehe in des Verfassers „Dampf und Dampfmaschine“, Band 63 dieser Sammlung.

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 neueren Wärmekraftmaschinen, bis jetzt wenigstens, der hohe Grad der Betriebssicherheit und Anpassungsfähigkeit an alle nur denkbaren Betriebsverhältnisse, welcher gerade die Dampfmaschinen (in der Form der Kolben-Dampfmaschinen) 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 „Ausnutzung“ 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 einge-



führt, 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 früher erwähnten Übelstände, die mit der Verwendung des Wasserdampfes als Kraftträger unvermeidlich verbunden sind, 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 obenerwähnten 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 (§. 21) 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  $0^{\circ}\text{C}$ , das heißt eine absolute



Temperatur von  $273^{\circ}$ , so müßten wir ihre Temperatur auf  $2 \times 273$ ,  $3 \times 273 \dots$ , das heißt auf 546, 819 ... Grad absolut oder auf 273, 546 ... Grad Celsius 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 Gas- und Petroleummaschinen verdrängt worden, und man kann wohl finden, daß Heißluftmaschinen jetzt bisweilen auf Jahrmärkten und Messen als Merkwürdigkeit gezeigt werden.

## 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 im Jahre 1860 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 überschwänglichen 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 jahrhundertealten 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 ebensogut aus als unsere besten und größten, mit der äußersten Sorgfalt hergestellten Dampfmaschinen, und, was nicht übersehen werden darf, während die jahrhundertealte Dampfmaschine an der Grenze der Vollkommenheit angelangt ist und eine nennenswerte Verbesserung in der Ausnutzung der ihr zugeführten Wärme nicht wohl möglich ist, stehen die neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen) noch im Beginne ihrer Entwicklung, und es kann mit Sicherheit vorausgesagt 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 Brennmateriel, 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 vollkommene Verbrennung erzielen als durch die Verbrennung fester Brennstoffe, denn nur bei gasförmigem Brennmateriel läßt sich die Zuführung einer zur voll-



kommenen 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 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.

Der stündliche Verbrauch an Leuchtgas für die Leistung 1 PS oder, wie man sagt, der Gasverbrauch für 1 Std-PS (Stunden-Pferdestärke) ist bei den Gasmaschinen ebenso verschieden, wie der Kohlenverbrauch bei den Dampfmaschinen. Hier wie dort steigert sich der Verbrauch, je kleiner die Leistung ist, für welche die Maschine gebaut ist. Im Durchschnitt kann man annehmen, daß eine kleine Gasmaschine (etwa in der Größe bis zu 10 PS) 0,7 cbm Leuchtgas für jede Std-PS<sub>n</sub> verbraucht, während der Verbrauch bei größeren Maschinen bis auf etwa 0,45 cbm, nicht selten sogar noch weiter heruntersinkt. So berichtet z. B. die Firma Gebr. Körting in Hannover, daß bei einem Versuche mit einer ihrer Gasmaschinen von 30 PS als günstigstes Ergebnis ein Leuchtgasverbrauch von nur 0,385 cbm für die Std-PS<sub>n</sub> erzielt wurde.

Um daraus die Wärmeausnutzung in ähnlicher Weise wie früher bei der Dampfmaschine zu berechnen, wollen wir annehmen, daß 1 cbm Leuchtgas bei vollständiger Verbrennung im Mittel etwa 5000 WE entwickelt (man sagt, das Gas habe einen Heizwert von 5000 WE), so daß einem Leuchtgasverbrauch von 0,7 cbm ein Wärmeverbrauch von  $0,7 \times 5000 = 3500$  WE entspräche. Wie wir früher (S. 27) gesehen hatten, entspricht aber 1 Std-PS<sub>n</sub> einer in nutzbringende Arbeit umgewandelten Wärmemenge von  $\frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{424} = 637$  WE; um nun diese Arbeit zu leisten, mußten in der Gasmaschine 3500 WE aufgewendet werden, es beträgt also die Wärmeausnutzung oder, wie wir früher gesagt hatten, der wirtschaftliche Wirkungsgrad

$$\eta_w = \frac{637}{3500} = 0,18.$$

1) Vgl. Blochmann, Luft, Wasser, Licht und Wärme. Band 5 dieser Sammlung. VI. Vortrag.



18% der zugeführten Wärme werden mithin in Arbeit umgesetzt, während 82% nutzlos verloren gehen. Obgleich das nun auch noch gerade kein glänzendes Ergebnis darstellt, zeigt doch ein Vergleich mit dem früher bei der Dampfmaschine berechneten Werte des wirtschaftlichen Wirkungsgrades, daß heute schon die kleinsten Gasmaschinen unsere besten und größten Dampfmaschinenanlagen, was die Ausnutzung der zugeführten Wärme betrifft, nicht nur erreicht, sondern sogar schon überholt haben.

Bei den größeren Leuchtgasmaschinen wird dieses Verhältnis natürlich noch weit günstiger. Nehmen wir z. B. den oben erwähnten günstigsten Verbrauch von 0,385 cbm für 1 Std.-PS<sub>n</sub> an. Das bei dem in Rede stehenden Versuch angewendete Gas hatte nach Mitteilung der Firma Gebr. Körting einen Heizwert von 4700 WE; daraus berechnet sich nun in diesem Falle ein wirtschaftlicher Wirkungsgrad

$$\eta_w = \frac{637}{0,385 \cdot 4700} = 0,35!$$

d. h. mit andern Worten: die Wärmeausnutzung ist in diesem Falle ungefähr zweieinhalbmals so gut als bei unseren besten und größten heutigen Dampfmaschinen! Genau genommen geben ja nun allerdings die Vergleiche zwischen Leuchtgasmaschinen und Dampfmaschinenanlagen insofern ein nicht ganz richtiges Bild, als für die Berechnung der Wärmeausnutzung bei den Dampfmaschinenanlagen von den Kohlen ausgegangen wird, bei den Leuchtgasmaschinen dagegen von dem aus den Kohlen gewonnenen Leuchtgase. Ein genau zutreffender Vergleich wird dagegen dann möglich sein, wenn man zu einem solchen statt der Leuchtgasmaschinen z. B. die später zu besprechenden Sauggasmaschinenanlagen heranzieht, bei denen die Gaszerzeugung immer nur lediglich für die Zwecke des Kraftbedarfs in der betreffenden Maschine erfolgt. Da diese Maschinenanlagen aus hier vorläufig nicht näher zu erörternden Gründen meist mit Anthrazit gespeist werden, soll auch nur solcher zum Vergleiche herangezogen werden.

Der Verbrauch an Anthrazit beträgt bei kleineren Anlagen etwa 0,55 kg für die Std.-PS<sub>n</sub>, bei größeren Maschinen (100 PS und darüber) bis herunter zu einem, durch Versuche festgestellten Verbrauche von 0,32 kg; und wenn man den Heizwert des Anthrazits (d. h. die Wärmeentwicklung bei vollkommener Verbrennung von 1 kg Brennstoff) zu 8000 WE annimmt, so ergibt sich:

Bei kleineren Sauggasanlagen ein Wärmeverbrauch von  $0,55 \cdot 8000 = 4400$  WE für die Std-PS, entsprechend einem

$$\eta_w = \frac{637}{4400} = 0,145.$$

Bei größeren Sauggasmaschinen beträgt der Wärmeverbrauch (entsprechend dem oben angeführten Versuche) bis herunter zu  $0,32 \cdot 8000 = 2560$  WE für die Std-PS<sub>n</sub>, entsprechend einem

$$\eta_w = \frac{637}{2560} = 0,25.$$

Man erkennt also auch hier wieder die bessere Wärmeausnützung gegenüber den Dampfmaschinenanlagen gleicher Größe.

Ähnlich liegen nun die Verhältnisse bei denjenigen Arten von Gasmaschinen, welche mit flüssigen Brennstoffen gespeist werden:

Benzin-, Benzol- und Ergin-Maschinen verbrauchen im Mittel etwa 0,3 kg Brennstoff für die Std-PS<sub>n</sub>. Nimmt man an, daß der Heizwert dieser Brennstoffe 10 300 WE beträgt, das heißt, daß 1 kg Brennstoff bei vollkommener Verbrennung 10 300 WE entwickelt, so entspräche dem erwähnten Brennstoffverbrauche ein Wärmeverbrauch von  $0,3 \cdot 10 300 = 3090$  WE für die Std-PS oder ein

$$\eta_w = \frac{637}{3090} = 0,206.$$

Gewöhnliche Petroleummaschinen durchschnittlicher Güte verbrauchen im Betriebe für jede Std-PS<sub>n</sub> durchschnittlich etwa 0,45 kg Petroleum, dessen Heizwert dem des Benzins im Mittel gleichgesetzt werden kann. Daraus ergibt sich für die Std-PS ein Wärmeverbrauch von  $0,45 \cdot 10 300 = 4635$  WE entsprechend einem

$$\eta_w = \frac{637}{4635} = 0,137.$$

Dieselm Maschinen. Genaue Versuche an einer Deutzer Petroleum-Maschine Bauart Diesel (siehe vierter Abschnitt) ergaben<sup>1)</sup> bei einer Leistung von 35 PS einen Brennstoffverbrauch von 187,3 g für die Std-PS<sub>n</sub>. Da der Brennstoff in diesem Falle nur einen Heizwert von 10 069 WE hatte, so entspricht dies einem Wärmeverbrauche von  $0,1873 \cdot 10 069 = 1886$  WE für die Std-PS oder einem

$$\eta_w = \frac{637}{1886} = 0,338.$$

Der von der „Maschinenfabrik Augsburg“ gewährleistete Brennstoffverbrauch beträgt für ein Petroleum von 10 000 WE/kg bei den kleinsten Dieselm Maschinen (8 PS<sub>n</sub>) 235 g, bei den größten (125 PS in einem Zylinder) 185 g für die Std-PS<sub>n</sub>.

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1908, S. 194.



Spiritusmaschinen verbrauchen im Mittel etwa 0,45 kg 90-volum-prozentigen Spiritus, dessen Heizwert zu etwa 5500 WE/kg angenommen werden kann. Dies entspricht einem Wärmeverbrauch von 2475 WE für die Std-PS und einem

$$\eta_w = \frac{637}{2475} = 0,258.$$

Daß übrigens gerade bei Spiritusmaschinen unter Umständen das Erreichen sehr günstiger Verbrauchszahlen, das heißt eine verhältnismäßig sehr hohe Wärmeausnützung möglich ist, zeigt ein Versuch, den Professor E. Meyer an einer 14 pferdigen Spiritusmaschine der Motorfahrzeug- und Motorenfabrik „Marienfelde“ im Jahre 1902 angestellt hat. Diese Versuche ergaben bei Vollbelastung einen Verbrauch von nur 0,352 kg für die Std-PS<sub>n</sub>, entsprechend einem Wärmeverbrauch von 1930 WE und einem

$$\eta_w = \frac{637}{1930} = 0,33.$$

Zum besseren Vergleiche der eben gefundenen Werte möge folgende kleine Zusammenstellung dienen:

Eine Stunden-Nutzpferdestärke (Std-PS) entspricht einer in nutzbare Arbeit umgesetzten Wärmemenge von 637 WE.

Art der Maschine	Brennstoffverbrauch für 1 Std-PS <sub>n</sub>	Heizwert von $\begin{cases} 1 \text{ kg} \\ 1 \text{ cbm} \end{cases}$ Brennstoff	Daher Wärmeverbr. W für 1 Std-PS <sub>n</sub>	entsprechend $\eta_w = \frac{637}{W}$
Dampfmaschinenanlagen	Steinkohle			
kleine, weniger gute Ausführung . . . . .	5 kg	5500 (kg)	37500	0,017
große, beste Ausführung	0,6 „	„ „	4500	0,142
Leuchtgasmaschinen				
kleine . . . . .	0,7 cbm	7000 (cbm)	3500	0,180
große . . . . .	0,45 „	„ „	2250	0,283
höchster erreichter Wert	0,385 „	4700 „	1800	0,353
Sauggasmaschinen	Anthrazit			
kleine . . . . .	0,55 kg	8000 (kg)	4400	0,145
große, vorzügliche Ausführung	0,32 „	„ „	2560	0,250
Benzin- usw. Maschinen im Mittel . . . . .	0,3 „	10300 (kg)	3090	0,206
Petroleummaschinen				
gewöhnliche . . . . .	0,45 „	„ „	4635	0,137
Dieselmachine 35 PS <sub>n</sub> . . . . .	0,187 „	10069 „	1886	0,338
Spiritus	90 vol. Proz.			
im Mittel . . . . .	0,45 kg	5500 (kg)	2475	0,258
Versuch an einer 14 PS-Maschine . . . . .	0,352 „	„ „	1930	0,33

Freilich wird sich nun derjenige, welcher sich eine Wärmekraftmaschine anschaffen will, nicht fragen: welche Maschine nutzt die ihr zugeführte Wärme am besten aus, 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 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. Vorher jedoch mögen hier noch im Zusammenhange die Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen gegenüber den älteren, namentlich gegenüber den Dampfmaschinen besprochen werden.

**Andere Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen. Möglichkeit der Verwendung als Kleinkraftmaschinen.** 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 unbedeutliche Raum zu anderweitiger Verwendung frei wird. Schließlich sei auch noch auf die größere Gefährlosigkeit 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 Dampfessel 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 Dampfessel 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 Stillstande 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 der Wärmekraftmaschinen.** 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 zu stark voneinander abweichen. Um jedoch einen ungefähren Überblick darüber zu geben, wie sich diese Kosten bei den einzelnen Kraftmaschinen gegeneinander verhalten, seien für die Preise der einzelnen Brennstoffe folgende Durchschnittswerte angenommen: Es betrage der Preis für:

1 cbm Leuchtgas . . . . .	12 Pfg
100 kg Kessellohle . . . . .	220 "
100 " deutschen Anthrazit . . . .	330 "
1 " Benzin . . . . .	36 "
1 " Benzol . . . . .	22 "
1 " Motorpetroleum . . . . .	22 "
1 " Treiböl für Dieselmotoren . .	12 "
1 " Motorspiritus . . . . .	20 "

Berechnet man hiernach die Kosten des für eine Std-PS<sub>n</sub> verbrauchten Brennstoffes bei den einzelnen Wärmekraftmaschinen, indem man die Verbrauchszahlen der Tafel auf Seite 46 entnimmt, so ergibt sich folgende Zusammenstellung:

Art der Maschinen	Verbr. an Brennstoff für 1 Std-PS <sub>n</sub> (s. Tafel S. 46).	$\eta_w$ (s. Tafel S. 46)	1 Std-PS <sub>n</sub> erford. Brennstoff im Preise von Pfg.
Dampfmaschinenanlage			
klein . . . . .	5 kg	0,017	11
groß . . . . .	0,6 "	0,142	1,3
Leuchtgasmaschinen			
klein . . . . .	0,7 cbm	0,180	8,4
groß . . . . .	0,45 "	0,283	5,4
Sauggasmaschinen			
klein . . . . .	0,55 kg	0,145	1,8
groß . . . . .	0,32 "	0,250	1,0



Art der Maschinen	Verbr. an Brenn- stoff für 1 Std-PS <sub>n</sub> (s. Tafel S. 46)	$\eta_w$ (1. Tafel S. 46)	1 Std-PS <sub>n</sub> erford. Brennstoff im Preis von Pfg.
Benzinmaschine im Mittel. . . . .	0,3	0,206	10,8
Benzolmaschine im Mittel. . . . .			6,6
Petroleummaschine gewöhnliche . . . . .	0,45 kg	0,124	9,9
35 PS-Dieselmachine . . . . .	0,187 „	0,338	2,24
Spiritusmaschine im Mittel. . . . .	0,45 kg	0,258	9,0
Versuch an einer 14 PS- Maschine . . . . .	0,352 „	0,33	7,0

**Betriebskosten der 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 letzten Spalte obiger Tabelle oft sehr wesentlich verschieben. So werden z. B. bei kleineren Dampfmaschinenanlagen trotz geringerer oder gleichgroßer Brennstoffkosten die Gesamtbetriebskosten für 1 Std-PS wesentlich größer als die gleichgroßer Benzin- und Petroleummaschinen, die Gesamtbetriebskosten kleinerer Dieselmachines größer als die gleichgroßer Spiritusmaschinen usw. Wer sich genauer hierüber unterrichten will, findet in der Literatur mehrfach ganz ausführliche Angaben. Siehe z. B. Eberle, Kosten der Kräfteerzeugung, Halle 1898, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1899, S. 198 ff. usw.

## Zweiter Abschnitt.

### Verpuffungsgasmaschinen 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 Brennstoffe 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 ebensowenig 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.

**Venoir-Maschine.** Für den Bau seiner Maschine hatte sich Venoir ganz augenscheinlich die doppelstwirkende 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 Schieberstellung 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 Venoirmaschine, weshalb die damaligen Erörterungen an dieser Stelle noch einmal nachgelesen werden mögen.

Die Maschine von Venoir, 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 sehr 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<sub>n</sub> 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 Dampfessels, die anderen großen Nachteile überwog.

**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 atmosphärischen Gasmaschine. Der Grundgedanke war ein wesentlich anderer als der der Venoirmaschine. 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 Venoirmaschine 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 Emporfliegens nicht mit der Schwungradwelle in Verbindung stand. Das Emporfliegen des

natürlich dicht an die Zylinderwandungen anschließenden Kolbens hatte in Verbindung mit einer den Zylinder umgebenden Wasserkühlung zur Folge, daß die Spannung unter dem Kolben sehr rasch und stark fiel und zwar derart, daß, wenn der Kolben durch Erlahmen seiner lebendigen Kraft in der obersten Stellung angekommen 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

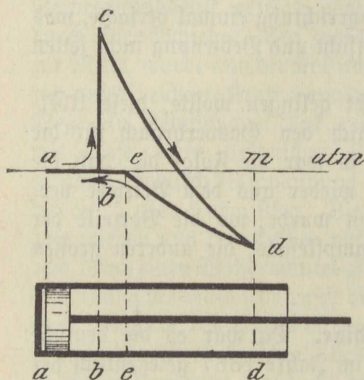


Abb. 9.

mit dem Schwungrade 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 (*atm*, Abb. 9) 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. 9) 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 *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. 9), bis sie bei der höchsten Stellung des Kolbens  $d$ , ihren niedrigsten Wert  $m d$  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  $e a$ , werden die Verbrennungsgase aus dem Zylinder gestoßen.

Die Maschine von Otto und Langen hatte zwei Übelstände: 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 Übelstand 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 Gasmaschine von Otto und Langen den für damalige Verhältnisse ganz unerhört niedrigen Gasverbrauch von nur 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 Klein-



gewerbe 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 Kräfteerzeugung 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 Gasverbrauchs erst in allerjüngster 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 Verdichtungs- und Saugpumpe 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 oben erwähnten 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 erst 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.** Schon in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts war es bekannt, daß, wenn man Brennstoffe, wie Steinkohle und dergleichen, in einem geschlossenen Gefäße erhitzt, ein Gas entsteht, welches angezündet mit leuchtender Flamme verbrennt. Die erste Nutzenanwendung davon soll ein Engländer namens Murdoch gemacht haben, der im Jahre 1792 seine Werkstatt mit einem solchen Gase erleuchtete. Da aber das Verfahren erst im Jahre 1801 durch den Franzosen Lebon bekannt wurde, der sich ein Patent auf einen Ofen zur Leuchtgasbereitung erteilen ließ, pflegt man Lebon gewöhnlich als den Erfinder des Leuchtgases zu bezeichnen. Heutzutage hat die Leuchtgasbereitung einen gewaltigen Aufschwung genommen, und es gibt wohl kaum noch eine Stadt oder einen Ort von auch nur mittlerer Größe, der nicht eine Gasanstalt besäße, ja in Amerika, wo Städte nicht selten sozusagen wie Pilze aus der Erde schießen, ist die Anlage einer Gasanstalt gewöhnlich mit das erste, was von der neu zu gründenden Stadt entsteht.

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 Gasloaks, 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 mit einander 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 stark 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 Teile 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.

Den Unterschied zwischen vollkommener und unvollkommener Verbrennung des Leuchtgases<sup>1)</sup>, eine Folge der besseren oder weniger guten Vermischung mit Luft, können wir am besten an einer offen brennenden Gasflamme erkennen. Lassen wir Gas in einem gewöhnlichen Schlißbrenner ausströmen und zünden es an, so verbrennt es in helleuchtender Flamme. Dieses helle Leuchten ist aber nur die Folge einer schlechten Vermischung des Gases mit Luft. Es können nämlich nur die äußeren Teilchen des ausströmenden Gasstrahles, die mit der Luft in Berührung stehen, vollständig verbrennen, wobei sie eine sehr starke Hitze entwickeln. Im Innern des Gasstrahles, wo eine solch gute Berührung mit Luft nicht möglich ist, scheidet sich Kohlenstoff in fein zerteilter Form aus, kommt durch die Hitze der äußeren, vollständig verbrennenden Gasteilchen in Weißglut und liefert dadurch das Licht der Gasflamme.

Anders verhält sich die Sache aber, wenn wir das Gas, bevor es aus dem Brenner austritt, mit Luft vermischen, wie das in allen unseren Gas Kochern geschieht. In diesem Falle findet durch den ganzen Gasstrahl hindurch eine vollkommene Verbrennung unter größter Hitzeentwicklung statt, und diese vollkommene Verbrennung zeigt sich äußerlich dadurch, daß die Flamme ihre Leuchtfähigkeit verliert.

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

1) Vgl. Blochmann, Luft, Wasser, Licht und Wärme, Band 5 dieser Sammlung V. und IV. Vortrag.



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. Genaue Zahlen für die untere Grenze, für die obere Grenze und für das stärkste Gemisch lassen sich nur auf Grund genauer Gasuntersuchungen geben, im allgemeinen kann man jedoch annehmen, daß eine Mischung von 1 Raumteil Leuchtgas mit etwa 5 bis 6 Teilen Luft jenem stärksten Gasgemisch entsprechen wird. Die untere Grenze für die Möglichkeit einer Verpuffung liegt etwa bei einer Mischung von 1 Raumteil Gas mit 4 Teilen Luft, während eine Mischung bei Außenluftspannung im allgemeinen aufhört entzündbar zu sein, wenn 1 Raumteil Gas mit 12 bis 14 Raumteilen Luft vermischt 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  $17^{\circ}$  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 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 Gasmaschine 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 Kreisprozeß 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 ver-



bunden; aber gerade so, wie es bei der Dampfmaschine unmöglich ist, die in dem Dampfe enthaltene latente Wärme (S. 31) vollständig auszunutzen 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. 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 Erzeugung des Gases eine ungünstigere ist als in den Tagen voller Benutzung der Gasanstalt. Die im folgenden angegebenen Zahlen sind einer Mitteilung von J. Körting in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrg. 1899, S. 702 ff. entnommen und beziehen sich, wie dort angegeben, auf den laufenden Betrieb, das heißt, es sind Durchschnittszahlen, bei denen auch die Zeiten schwacher Inanspruchnahme des Gaswerkes, also ungünstiger Erzeugung, mit in Rechnung gezogen sind.

Die Leuchtgasherstellung ist eine der wenigen Industrien, welche ohne jede Abfallstoffe arbeiten, da sämtliche sich ergebenden Nebenerzeugnisse, der Koks, der Teer, sowie das Ammoniakwasser in gewinnbringender Weise verwertet werden. Aus 100 kg westfälischer Steinkohle werden im Mittel erzeugt:

28 cbm Leuchtgas mit einem mittleren Heizwerte von 5000 WE  
f. d. cbm,

65 kg Koks mit einem mittleren Heizwerte von 7000 WE f. d. kg,

4,7 kg Teer mit einem mittleren Heizwerte von 8650 WE f. d. kg.

Ein Teil des erzeugten Gaskoks wird in der Gasanstalt selbst zur Erhitzung der Retorten wieder verbraucht. Die Menge dieser

wieder verbrauchten Koks richtet sich nach der größeren oder geringeren Vollkommenheit der Anlage. Im Mittel kann man annehmen, daß in neueren, gut eingerichteten Gasanstalten zur Vergasung von 100 kg Steinkohle etwa 14 kg Koks verbraucht werden, so daß also  $65 - 14 = 51$  kg Koks zu anderweitiger Verwendung übrig bleiben. Nimmt man an, daß die Steinkohle einen mittleren Heizwert von 7000 WE f. d. kg besitzt, so erhält man von den 700 000 WE, welche 100 kg vergaster Steinkohle besessen haben, ungefähr

$$\begin{array}{rcl} 28 \times 5000 & = & 140\,000 \text{ WE im erzeugten Gase,} \\ 51 \times 7000 & = & 357\,000 \text{ „ in den übrigbleibenden Koks,} \\ 4,7 \times 8650 & = & 40\,650 \text{ „ im gewonnenen Teer, also} \\ \hline \text{zusammen} & & 537\,650 \text{ WE,} \end{array}$$

oder eine Ausnützung des Brennstoffes von  $\frac{537\,650}{700\,000} = 0,77$ , das heißt 77%.

Ist dieses an sich schon eine ganz vorteilhafte Ausnützung — bei Dampfkesselanlagen dürfte man auf so günstige Durchschnittszahlen im allgemeinen nicht kommen —, so ist ferner zu beachten, daß die ebengenannte Ausnützungszahl 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 Ammoniak ist hier mit in Rechnung zu ziehen. Ammoniak hat allerdings keinen Heizwert, es kann also bei der Beurteilung der Frage, wie bei der Gaserzeugung 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 Ausnützung der Steinkohle, bei.

**Kraftgas (Dowsongas).<sup>1)</sup>** So vorteilhaft nun auch die Verwendung des Leuchtgases als Mittel zur Krafterzeugung ist, so einfach es auch ist, dieses Gas überall hinzuleiten, so hat seine Verwendung für die Besitzer von Gaskraftmaschinen doch eine unangenehme Seite, nämlich die stete Abhängigkeit von der Gas-

1) Genaueres hierüber siehe in des Verfassers „Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen“, Bd. 86 dieser Sammlung.



anstalt. 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 Nachtheile) für die Lieferung des zu Kraftzwecken verwendeten Gases verlangen, machen es häufig genug wünschenswert, in ähnlicher Weise wie der Dampfkesselbesitzer bei der Krafterzeugung eine größere Selbstständigkeit 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 von dem Engländer Emerson Dowson erfundenes und nach ihm gewöhnlich benanntes Gas eine weite Verbreitung als Kraftgas gefunden, und da dieses Dowsongas neben einem genügend großen Heizwerte den Vorteil besitzt, sich verhältnismäßig leicht herstellen zu lassen, so hat sich die Anlage derartiger Gas-erzeugungsvorrichtungen für größere Betriebe als empfehlenswert herausgestellt.

Die Herstellung des Dowsongases geschieht in der Weise, 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 kleinen Ofen, dem sogenannten 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 freiwerdenden Kohlenoxyd ein brennbares Gas bildet, welches nach einigen Reinigungsvorgängen in einem Behälter (Gasmeter) aufgefangen wird. Der Generator muß natürlich von Zeit zu Zeit mit neuem Brennstoffe beschickt werden, jedoch dürfen hierzu nicht 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. Man konnte daher früher nur den sogenannten Anthrazit verwenden, wodurch die Herstellung des Dowsongases dort, wo

Anthrazit nur schwer zu bekommen war, ziemlich kostspielig wurde. In neuerer Zeit ist es jedoch gelungen, neben anderen Brennstoffen vor allen Dingen auch den gewöhnlichen Gaskoks mit gutem Erfolge zu verwenden, der zwar ein Gas von etwas geringerem Heizwerte liefert, dafür aber die Kosten für die Herstellung herabmindert und eine umfangreiche Verwendung der Dowfongas-Anlagen ermöglicht.

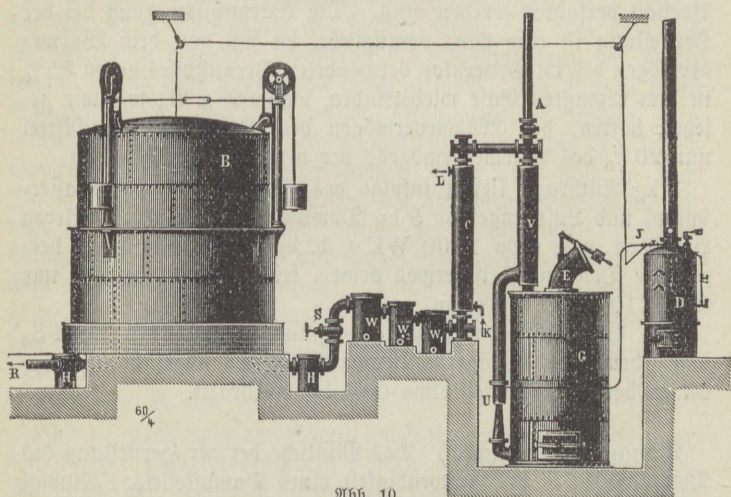


Abb. 10.

Die Abb. 10 stellt die Übersichtsskizze einer Kraftgasanlage dar, wie sie von Gebrüder Körting in Körtingsdorf bei Hannover ausgeführt wird. *D* ist der kleine Dampfkessel, welcher den Dampf für das Dampfstrahlgebläse *U* liefert, mittels dessen die zur Vergasung nötige Luft unten in den Generator *G* eingeblasen wird. *E* ist die Öffnung, durch welche der Brennstoff oben in den Generator geschüttet wird. Das entstandene Gas durchströmt zunächst ein Rohr, welches von einem Mantel *V* umgeben ist, gibt hier an die von dem Dampfstrahlgebläse angesaugte, zwischen dem Rohr und dem Mantel *V* hindurchstreichende Luft einen Teil seiner Eigenwärme ab und durchströmt dann ein mit dem Kühlwassermantel *C* umgebenes Rohr, in welchem es noch weiter abgekühlt wird. Durch die Waschvorrichtungen *W*<sub>1</sub>, *W*<sub>2</sub>, *W*<sub>3</sub> gelangt das Gas dann schließlich in den Behälter *B*,



in welchem es aufgespeichert wird. Für geringwertige Brennstoffe wird hinter dem Wascher  $W_3$  noch ein Sägespäreiniger eingebaut.

Das 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 sich von dem Wärmevermögen des im Generator verwendeten Brennstoffes gegen 85% in dem erzeugten Gase wiederfinden, während z. B., wie wir gesehen hatten, das Wärmevermögen des Leuchtgases im Mittel nur 20 % des Wärmevermögens der vergasten Kohle betrug.

1 kg Anthrazit liefert infolge des Hinzutretens von Wasserdampf und Luft ungefähr 5 kg Dowsongas mit einem mittleren Heizwerte von etwa 1200 WE f. d. kg. Das aus Koks hergestellte Dowsongas ist etwas ärmer, sein Heizwert beträgt nur etwa 1100 WE f. d. 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.

**Sauggeneratorgas.**<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 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 saugende Wirkung des Maschinenkolbens, um bei jedem

1) Vgl. Anmerkung auf S. 63.

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 namentlich bei kleineren und mittleren Anlagen etwa bis zu 100 PS eine wesentliche Erhöhung der Wirtschaftlichkeit erzielt. Bezüglich des Brennstoffbedarfes für die Std-PS siehe S. 46.

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

**Hochofengase (Gichtgase).<sup>1)</sup>** Das Bestreben, vorhandene Wärmequellen besser als bisher auszunutzen, in Verbindung mit dem Bestreben, den Gaskraftmaschinen immer weitere Absatz- und Anwendungsgebiete zu verschaffen, führte in jüngster Zeit dazu,

1) Vgl. Anmerkung auf S. 63.



die bei der Erzeugung des Roheisens, das heißt beim Hochofenbetriebe sich bildenden sogenannten Gichtgase zum Betriebe von Gasmaschinen zu verwenden.

Der größte Teil dieser Gichtgase wird zur Winderhitzung verwendet, d. h. zur Erwärmung derjenigen Luft, welche zur Erhaltung der Verbrennung in den Hochofen eingeblasen werden muß. Der Rest dagegen diente früher lediglich dazu, unter den

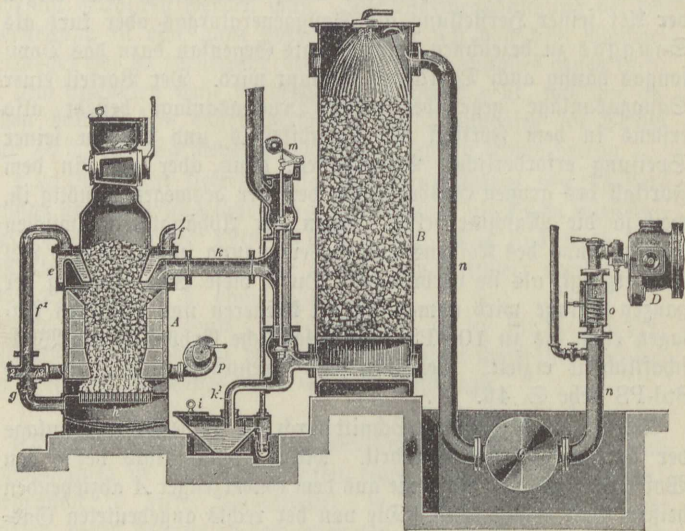


Abb. 11.

Dampfkesseln verbrannt zu werden, welche den Dampf für die Gebläsemaschinen und sonstige auf den Werken benötigte Betriebsmaschinen zu liefern hatten.

Gerade diese Ausnutzung zur Dampferzeugung war nun bei dem verhältnismäßig geringen Wirkungsgrade der Dampfkessel eine recht mangelhafte, denn während neuere Gichtgasmaschinen bei einem mittleren Heizwerte des Gichtgases von 950 WE/cbm etwa 2,5 cbm oder rund 2200 WE für die Std-PS verbrauchen, beträgt der Gas- und Wärmeverbrauch für die Std-PS bei Verwendung des Gases zur Dampferzeugung in Dampfkesseln ungefähr das dreifache. Bedenkt man, daß das jährliche Erzeugnis deutscher Hochöfen mehr als 13 000 000 Tonnen Roheisen beträgt und daß für jede im Hochofen erzeugte Tonne Roheisen

nach Abzug aller Verluste und der für die Winderhitzung benötigten Gasmenge noch etwa 2500 cbm Gichtgas für Kraft-erzeugungszwecke zur Verfügung stehen, so erkennt man den hohen wirtschaftlichen Wert der unmittelbaren Verwertung der Gichtgase zur Krasterzeugung.

**Koksofengase.**<sup>1)</sup> Ähnlich, wie mit dem Gichtgase steht es mit der Verwendung der Koksofengase. Bei der in besonderen Öfen erfolgenden Herstellung des zu Hochofenzwecken erforderlichen Koks werden nämlich ebenfalls Gase in größeren Mengen erzeugt, welche zwar zum größten Teile zum Heizen der Koksöfen selbst verwendet werden, zum Teil aber auch bei einem mittleren Heizwerte des Gases von etwa 3300 WE/cbm zur Krasterzeugung zur Verfügung stehen. Bei dem gewaltigen Bedarfe unserer Hüttenwerke an Koks schon allein für die Erzeugung des Roheisens ist auch die jährliche Kokszerzeugung im stetigen Steigen begriffen, so daß eine zweckmäßige Verwendung der überschüssigen Koksofengase zur Krasterzeugung in Gasmaschinen ebenfalls von hoher wirtschaftlicher Bedeutung ist.

**Abmessungen der Gasmaschinen bei Verwendung von Gasen geringeren Heizwertes.** Es war in den letzten Abschnitten von Gasen die Rede, welche sämtlich einen mehr oder minder geringeren Heizwert hatten als Leuchtgas. Man könnte nun zunächst denken, daß die Leistung zweier sonst genau gleichgroßer Maschinen, von denen die eine mit Leuchtgas, die andere mit einem Gase von geringerem Heizwerte betrieben wird, im Verhältnis der Heizwerte der beiden Gase von einander abweichen. Wählen wir beispielsweise Gichtgas, dessen Heizwert, wie oben erwähnt, im Mittel nur 950 WE/cbm beträgt gegenüber 5000 WE/cbm beim Leuchtgas, so läge die Annahme nahe, daß eine mit Gichtgas betriebene Maschine im Verhältnis zu einer gleichgroßen Leuchtgasmaschine nur  $\frac{950}{5000} = 0,19$  oder 19% der Leistung erreichen würde. Dies ist aber durchaus nicht der Fall. Es kommt nämlich nicht auf den Heizwert des verwendeten Gases an, sondern auf den Heizwert des verwendeten Gasgemisches. Nun braucht aber 1 cbm Leuchtgas zu vollständiger Verbrennung

1) Vgl. Anmerkung auf Seite 63.



rund 5 cbm Luft, Gichtgas dagegen nur 0,8 cbm. 1 cbm Gasgemisch hat also bei Verwendung von Leuchtgas einen Heizwert von  $\frac{5000}{1+5} = \sim 830$  WE, bei Verwendung von Gichtgas aber  $\frac{850}{1+0,8} = 470$  WE. Erwägt man noch, daß eine Leuchtgasmaschine, wie wir früher gesehen hatten, nie mit dem stärksten Gasgemisch, sondern immer mit viel höherer als fünffacher Luftverdünnung arbeitet, während die Gichtgasmaschine mit einem viel geringeren Luftüberschusse auskommt, so ist es erklärlich, daß, wie die Versuche gezeigt haben, eine mit Gichtgas betriebene Gasmaschine nur eine um etwa 15 bis 20 % geringere Leistung hat als eine gleichgroße Leuchtgasmaschine. Mit anderen Worten: die Zylinderabmessungen einer Gichtmaschine brauchen nur unwesentlich größer zu sein, als die einer Leuchtgasmaschine gleicher Leistung.

### 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 in gewisser Weise ein Rückschritt, insofern nämlich, als ihr Gasverbrauch für eine Nutzpferdestärke den der atmosphärischen Gasmaschine, in der ersten Zeit wenigstens, überstieg. Der große Fortschritt gegen die alte Maschine von Otto und Langen bestand zunächst rein äußerlich einmal in der bedeutend einfacheren Bauart, ferner in dem verhältnismäßig geräuschlosen Gange, vor allen Dingen aber darin, daß die Abmessungen auch für größere Leistungen sich in bescheidenen Grenzen hielten. Sieht man von diesen Äußerlichkeiten ab, so bestand der größte Fortschritt gegen alle früheren, tatsächlich ausgeführten Gasmaschinen in der Verwendung verdichteter Gasgemische; sie allein war die Grundlage für die hohe Entwicklung und den hohen Grad der Vollkommenheit, welchen die Gasstromaschinen in neuerer Zeit erreicht haben.

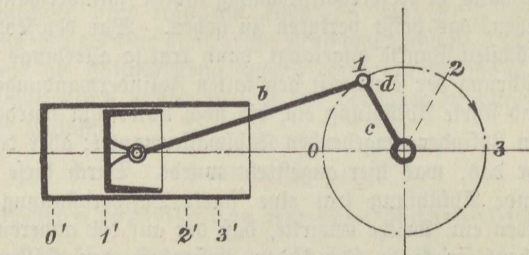
Es könnte hier vielleicht als ein Widerspruch erscheinen, daß ja die alte Maschine von Otto und Langen, die doch mit unverdichteten Gemischen arbeitete, trotzdem einen so geringen Gasverbrauch für die Nutzpferdestärke aufwies. Dieser Widerspruch

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 geschosspartig 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, daß der auf der anderen Seite des Kolbens wirkende Druck der Außenluft den Kolben nach abwärts trieb und auf diese Weise, wie wir gesehen hatten, Arbeit verrichtete. Mit anderen Worten: die eigentliche Umsetzung von Wärme in Arbeit, die Übertragung der Arbeitsfähigkeit an den Kolben, geschah hier in möglichst vollkommener Weise, unter möglichst geringem Wärmeverlust, daher der geringe Gasverbrauch.

Betrachten wir dagegen mit Hinblick hierauf die Gaskraftmaschine von Lenoir. Bei dieser Maschine saugte der Kolben etwa bis zur Mitte seines Hubes Gasgemisch an, dann erst, also während der Kolben etwa in der Mitte des Zylinders stand, trat die Zündung ein. Daß hierbei ein außerordentlich starker Wärmeverlust eintreten mußte, ergibt sich schon daraus, daß ja bereits bei Beginn der Verpuffung das ganze Gasgemisch mit der Hälfte der (stark gekühlten!) Zylinderwandungen in Berührung stand. Nun besitzt aber ferner der Kolben gerade in der Mitte seines Hubes seine größte Geschwindigkeit, wie folgende Überlegung an Hand der Skizze Abb. 12 a. f. S. zeigt. Der Kolben ist durch die Schubstange *b* mit dem an der Kurbel *c* angebrachten Kurbelzapfen *d* verbunden. Die Umdrehung des Kurbelzapfens können wir mit genügender Genauigkeit als eine gleichförmige ansehen, das heißt: wir können annehmen, daß der Zapfen in



einer Sekunde immer denselben Bogen zurücklegt. Theilen wir nun beispielsweise den Halbkreis  $\widehat{OZ}$  in drei gleiche Theile  $\widehat{O1}$ ,  $\widehat{12}$ ,  $\widehat{23}$ , wobei wir annehmen wollen, daß der Kurbelzapfen einen jeden solchen Theil gerade in einer Sekunde durchläuft, und vergleichen wir damit die Strecken, welche der Kolben in demselben Zeitraume zurücklegt, so erkennen wir, daß der Kolben während der zweiten Sekunde, das heißt in der Mitte seines Hubes einen viel größeren Weg zurückgelegt als in der ersten und dritten Sekunde. Mit andern Worten: der Kolben besitzt gerade in der Mitte seines Hubes seine größte Geschwindigkeit, und da wir früher gesehen



ᲒᲗᲗ. 12.

hatten, daß die Verpuffung eines Gemisches durchaus nicht in unmeßbar kurzer Zeit erfolgt, so war bei der Lenoirmaschine die vollständige Verbrennung des Gasgemisches erst beendet, nachdem der Kolben 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 in 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. 21) gesehen, daß nach dem Geseze 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 Verdichtungs- und Verbrennungspumpe dient, bei der nächsten Umdrehung aber durch Entzündung des vorher verdich-



teten Gasgemisches als Wärmekraftmaschine arbeitete. 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 Gaskraftmaschinen 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 Schwungrad 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 dagegen Arbeitszylinder und Verdichtungszyylinder, wie oben beschrieben, einzeln ausführen, dann fände bei jeder Umdrehung der

Maschine eine Verpuffung statt, der Kolben erhielte bei jedem zweiten Hube oder Takte einen Arbeitsantrieb und man müßte dann diese Arbeitsweise Zweitaktwirkung, die in dieser Art arbeitenden Maschinen Zweitaktmaschinen nennen.

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. Abbildung 13). Auf dem Rückwege des Kolbens wird dieses Gasgemisch verdichtet, wodurch die

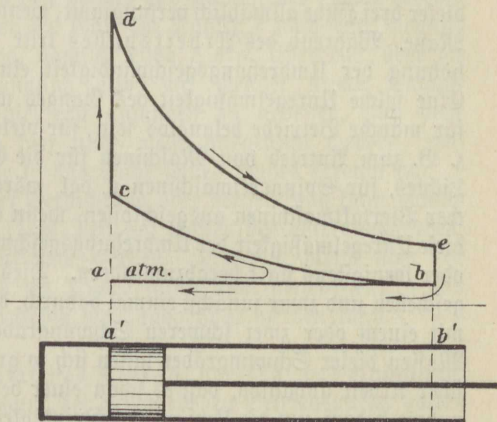


Abb. 13.

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 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.

**Mängel der Viertaktwirkung.** Wenn nun auch die sogenannten Viertaktmaschinen den unbestreitbaren Vorzug großer Einfachheit besitzen, so haften ihnen doch gerade infolge ihrer Wirkungsweise



zwei wesentliche Mängel an. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß immer erst nach jedem vierten Hube der Kolben einen Arbeitsantrieb erfährt und infolgedessen die für die anderen drei Hube nötige Arbeit der in dem Schwungrade aufgespeicherten Energie entnommen werden muß. Eine solche Arbeitsentnahme, die ja ähnlich 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 Hube 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 u. 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 That 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 bedeutenden 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 gleichgerichteten Pleueln 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 75. 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 zum Beispiel 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 Leuchtgas und ebenso natürlich Dampfgas und Gichtgas, die Fähigkeit besitzen, sich außerordentlich rasch mit Luft in jedem beliebigen Verhältnisse zu vermindern. 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 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 allzustark 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 aller Erbauer von Gasmaschinen geht daher in neuerer Zeit dahin, möglichst stark verdünnte Gasgemische zu verwenden.

Die gewöhnliche Mischung in den neueren Ottoschen Gasmaschinen besteht in der Regel aus einem Raumtheile Gas mit etwa sieben Raumtheilen Luft, doch darf hierbei nicht außer acht gelassen werden, daß dieses Gemisch eine weitere Verdünnung noch dadurch erfährt, daß von dem vorhergehenden Auspuffabschnitt ein Theil der Verbrennungsgase in dem sogenannten Laderaum 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 Todlage steht. Man ersieht leicht, daß dieser Theil der im Zylinder nach dem Auspuffabschnitte zurückbleibenden Gase 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.

Die Vermischung der frisch angesaugten Ladung mit dem zurückbleibenden Theile der Verbrennungsgase hat übrigens außerdem noch zur Folge, daß durch die verhältnismäßig hohe Temperatur der Gase (im Mittel etwa  $400^{\circ}$ ) eine Erwärmung des frischen Gasgemisches stattfindet, was für eine gute Diffusion und damit für eine sichere Zündwirkung und bessere Verbrennung des Gemisches von Vorteil ist.

**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 zum Beispiel 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 Nachtheil, daß ihre Abmessungen, namentlich in der Längsrichtung, zu bedeutend würden, ferner aber würde in erhöhtem Maße der Übelstand eintreten, der bereits

auf Seite 71 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 mit einander 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 alle diese von Luft umgebenen Gasteilchen näher aneinander und zwar um so näher, je weiter die Verdichtung getrieben wird, die Entzündung wird also viel rascher von einem Gasteilchen 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 Gasgemische verbrennen, wie aus der Tafel auf Seite 61 ersichtlich ist, mit einer bedeutend geringeren 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 Spannung eine höhere wird. Demgemäß bekommt auch die Ausdehnungslinie *d e* im Diagramm Seite 75 eine höhere Lage, der



Flächeninhalt des Diagrammes 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 zur Genüge klar, welche großen Vorteile die Verdichtung der Gasgemische vor der Zündung bietet, und in der That zeigt auch die theoretische Berechnung, daß der thermische Wirkungsgrad einer Gasmaschine (das Verhältnis der Differenz der zu- und abgeführten Wärmemenge zur gesamten zugeführten Wärmemenge), sie mag nun mit Leuchtgas, Dampfgas oder Gichtgas, mit Petroleum- oder Benzindämpfen u. 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, bisweilen sogar noch höher, 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 bei der Verwendung gewöhnlichen Leuchtgases die Verdichtung wesentlich höher, so kann infolge der bei der Verdichtung stattfindenden Erhitzung des Gasgemisches leicht eine vorzeitige Selbstentzündung 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 gegebenen Falls die Maschine zertrümmern könnte. Wesentlich höher mit der Verdichtung hinaufzugehen, wäre nur dann möglich, wenn man entweder das Ladungsgemisch stärker verdünnte, wodurch aber wiederum die Sicherheit der Zündwirkung beeinträchtigt wird, oder wenn man Gase von geringerem Heizwerte verwendete. Derartige Gase sind, wie wir gesehen hatten, das Kraftgas (Dampfgas) und vor allen Dingen das Gichtgas. In der That arbeiten neuere Kraftgasmaschinen und namentlich Gichtgasmaschinen mit wesentlich höheren Verdichtungsdrücken, als oben angegeben (11 atm und darüber), woraus sich ergibt, daß der thermische Wirkungsgrad, der ja nach unseren oben angestellten Betrachtungen mit der Verdichtung wächst, bei Kraftgasmaschinen

und Lichtgasmaschinen 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 — Flammenzündung, Glührohrzündung, elektrische Zündung —, 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.

Die Art und Weise, in welcher die Zündung in der Gasmaschine erfolgt, ist lange Zeit hindurch ein vielumstrittener Punkt gewesen und ist wohl auch heute noch nicht ganz klargestellt. Tatsache ist, daß die Verbrennung des Gasgemisches nicht augenblicklich geschieht, wie sich sehr deutlich aus den Diagrammen ergibt, welche man von der Maschine selbst vermittlels des Indikators aufzeichnen läßt. Bei allen diesen Diagrammen steigt nämlich die Spannung *c, d* (Abb. 13, S. 75) nur in ihrem untersten Teil senkrecht an, 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. Ob aber die Verbrennung gleichzeitig mit der Erreichung der höchsten Spannung, oder kurz darnach, oder erst im Verlaufe der Ausdehnung der Gase vollständig beendet ist, darüber gehen die Ansichten auseinander. Erhöht man während des Ganges der Maschine die Verdünnung des Gasgemisches, indem man weniger Gas zuströmen läßt, und läßt dann die Maschine vermittlels 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  $400^{\circ}\text{C}$  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. Nun 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 Tat 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 nennenswerten Erfolge geführt.

**Zweitaktmaschinen.**<sup>1)</sup> Um die im vorhergehenden gekennzeichneten Übelstände 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, oder bei jeder Um-

1) Vgl. Anmerkung S. 63.

drehung 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 Beschreibung 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 Arbeitshuben 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 Kühlung des auf der einen Seite nicht mehr mit der Außenluft in Berührung stehenden Kolbens anfänglich Schwierigkeiten bereiteten, werden heut 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. 14 veranschaulichten Form zuerst von Schellhäuser und später von Körting

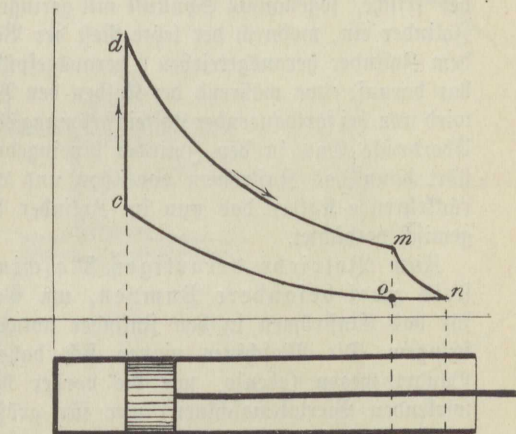


Abb. 14.



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. Bevor nun der Kolben seinen Hub beendet hat, wird, etwa im Punkte *m*, in irgendeiner Weise das Innere des Zylinders mit der Auspuffleitung in Verbindung gebracht, so daß die in diesem Augenblicke immer noch verhältnismäßig hochgespannten Gase rasch aus dem Zylinder entweichen. Während dieses Auspuffens dringt von der anderen Zylinderseite 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 Zufließen von Gas und Luft auf, worauf der rückkehrende Kolben das nun im Zylinder befindliche Gas-Luftgemisch verdichtet.

Zum Betriebe derartiger Maschinen gehören also stets zwei besondere Pumpen, um Gas und Luft auf die für das Einstromen in den Zylinder notwendige Spannung zu bringen. Die Maschinen eignen sich daher ihrer verwickelten Bauart wegen (ebenso, wie die vorher beschriebenen doppeltwirkenden Viertaktmaschinen) nur für größere Leistungen, für welche sie aber ebenfalls schon in großer Zahl ausgeführt worden sind.

Bringt man endlich, wie dies bei den Maschinen von Körting der Fall ist, einen solchen ebenbeschriebenen Zweitakt auf jeder der beiden Kolbenseiten zur Ausführung, so erhält man offenbar eine Eintaktmaschine, das heißt eine Maschine, welche sich, was die Zahl der Kraftstöße während einer Kurbelumdrehung betrifft, von einer doppeltwirkenden Dampfmaschine nicht mehr unterscheidet.

## 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





der Dampfmaschine häufig verwendeten Kurbel tritt hier in fast allen Fällen die sogenannte gekröpfte Welle (*w* Abb. 16), das heißt eine Welle, welche so gebogen ist, daß die Kurbel sich nicht an einem Ende, sondern in der Mitte befindet, eine Anordnung, durch welche eine größere Einfachheit im Aufbau der Maschine erreicht wird. 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 wird gewöhnlich nur bei kleineren Maschinen angewendet, wenn

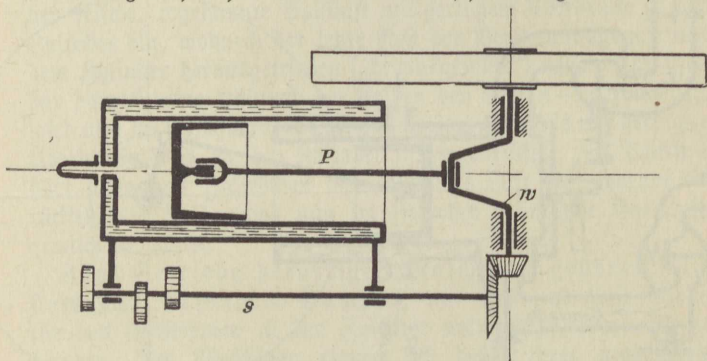


Abb. 16.

es sich darum handelt, eine Maschine herzustellen, welche möglichst wenig Platz einnimmt. Abb. 17 a. f. S. zeigt z. B. die Skizze einer solchen stehenden Maschine mit untenliegender Schwungradwelle. Die Bauart mit liegendem Zylinder muß als die bessere bezeichnet werden, da derartige Maschinen bedeutend standfester sind und vor allen Dingen eine bessere Zugänglichkeit zu allen ihren Teilen gewähren, was für eine gute Instandhaltung der Maschine von nicht zu unterschätzendem Vorteile 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. 15, 16 u. 17), 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 sehr schwer zugänglich wird.

Eine allen Gasmaschinen eigentümliche Einrichtung, durch welche sie sich von der Dampfmaschine wesentlich unterscheiden, ist die Kühlung des Zylinders, deren Notwendigkeit früher (§. 61) besprochen wurde. Sie geschieht, wie ebenfalls schon erwähnt wurde, in der Regel in der Weise, daß der ganze Arbeitszylinder mit einem zweiten Zylinder, dem Zylindermantel, umgeben und durch den hierdurch entstandenen Zwischenraum kaltes Wasser in ununterbrochenem Strome hindurchgeleitet wird. Nur bei ganz kleinen Gasmaschinen, namentlich bei den später zu besprechenden Petroleum-, Benzin- und Spiritusmaschinen, hat man versucht, die Wasserkühlung ganz oder teilweise dadurch zu ersetzen, daß man den Zylinder außen mit einer Anzahl Rippen versieht, welche der Außenluft eine große Oberfläche darbieten und auf diese Weise eine Ableitung der erzeugten Wärme in die Luft ermöglichen sollen. Daß die Notwendigkeit der Wasser-

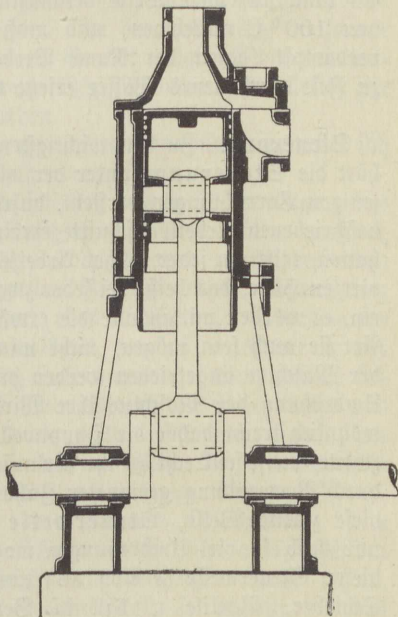


Abb. 17.

kühlung ein der Gasmaschine anhaftendes notwendiges Übel ist, wurde bereits eingehend besprochen. Sie wird es umsomehr, 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 hinzugerechnet werden müssen. Macht die Beschaffung von stets zu erneuerndem Kühlwasser aus irgend welchen Gründen Schwierigkeit, so kann man sich dadurch helfen, daß man (z. B. bei Automobilen) immer wieder dasselbe Wasser verwendet, indem man



es nach dem Austritt aus dem Zylindermantel mittelst einer kleinen Pumpe durch einen sogenannten Luftkühler (ein Behälter mit kleinem Querschnitt, aber großer Oberfläche) hindurch und wieder in den Zylindermantel hineindrückt. Eine andere Abhilfe, die man z. B. bei Benzin- oder Spirituslokomobilen u. dgl. findet, ist die, daß das Wasser in dem kastenartig gestalteten, oben mit einem offenen Rohre versehenen Zylindermantel stehen bleibt. Es kann auf diese Weise bekanntlich höchstens eine Temperatur von  $100^{\circ}\text{C}$  annehmen, und muß natürlich, da es allmählich verdunstet (daher der Name Verdunstungskühlung), von Zeit zu Zeit durch neues Wasser ersetzt werden.

**Steuerung.** Zu den wichtigsten Theilen 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. Gewöhnlich treibt daher die Hauptwelle der Maschine 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. 16) aus werden dann die einzelnen Schieber, Ventile u. 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. Diese Bauart ist heute gänzlich verlassen worden, erstens einmal, weil für die Bewegung des Schiebers infolge der Reibung eine nicht unbedeutende Arbeit erforderlich war, ferner aber auch, weil der Schieber schwer dicht zu halten war und, falls er einmal durch

Zufall oder Unachtsamkeit beschädigt wurde, nur von sachkundigen Leuten wiederhergestellt werden konnte. Heutzutage wendet man ausschließlich Ventile an 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 schematischen Abb. 15, S. 85 ersichtlich ist. Die Anordnung der Ventile, d. h. ihre Lage zueinander, sowie die Lage in bezug auf die Maschine, kann außerordentlich mannigfaltig sein. In der Abbildung, die ja nur die Wirkungsweise der einzelnen Ventile möglichst deutlich veranschaulichen soll, ist auf zweckmäßige Anordnung natürlich gar keine Rücksicht genommen worden.

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 öffnet 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 angekommen, 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 offengehalten, 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 ebenbesprochene Ventilanordnung wird bisweilen in der Weise abgeändert, daß an Stelle des gesteuerten Gasventiles *a* ein selbständiges Mischventil tritt, d. h. ein Ventil, welches gleichzeitig Luft- und Gaseintritt in die Maschine regelt und welches allein durch die Saugwirkung des Kolbens geöffnet wird. Die beiden anderen Ventile, das Gemischeinlaßventil und das Auslaßventil, bleiben dagegen wie bei der vorigen Anordnung bestehen.

Ein solches Mischventil der ebenbesprochenen Art zeigt Abb. 18. Wie man sieht, besteht das Ventil aus einer Art Glocke mit ver-

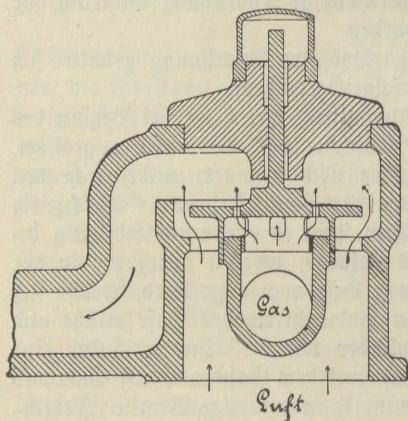


Abb. 18.

schiedenen 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. Man sieht auch, daß dieses Ventil den Vorteil besitzt, daß das Verhältnis des angesaugten Gases zur angesaugten Luftmenge, also das Mischungsverhältnis, sich stets gleichbleibt, 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, so hat man gerade hierauf bei dem Bau einer Gasmaschine sein Augenmerk zu richten und muß dabei die beiden Bedingungen zu erfüllen suchen, daß die Zündvorrichtung mit

möglichster Einfachheit große Betriebssicherheit verbindet, so daß ein Versagen nach Möglichkeit vermieden wird.

Die alte elektrische Zündung der Lenoirmaschine unter Verwendung galvanischer Elemente erfüllte eigentlich keine dieser Bedingungen; sie war umständlich, unzuverlässig, erforderte große Aufmerksamkeit in der Bedienung, und wenn sie einmal in Unordnung geraten war, was nicht selten eintrat, konnte sie in der Regel durch den Maschinisten selber nicht wieder instand gesetzt werden. Besser war schon die bei den späteren Maschinen und auch von Otto angewendete, wiederholt erwähnte Schieberflammenzündung, deren Einrichtung im wesentlichen die folgende war: In die Höhlung eines sich hin- und herbewegenden Schiebers wurde ein Luft- und Gasgemisch geleitet und dieses Gemisch an einer ständig brennenden Flamme entzündet. Unmittelbar darauf wurde die das brennende Gasgemisch enthaltende Schieberhöhlung von der Außenluft abgeschnitten und mit dem Zylinderinnern zunächst durch eine ganz feine Öffnung in Verbindung gebracht, um einen Druckausgleich zwischen der Schieberhöhlung und dem mit verdichtetem Gasgemisch angefüllten Laderaume des Zylinders herzustellen. Dann erst wurde die Schieberhöhlung vollständig mit dem Innern des Laderaumes in Verbindung gebracht und auf diese Weise eine Zündung des Arbeitsgemisches im Zylinder bewirkt. Auch diese Zündungsart wird bei den neueren Gasmaschinen nicht mehr angewendet, da sie einerseits zu umständlich, andererseits nicht zuverlässig genug ist.

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 magnetoelektrischen 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. 15, S. 85), welches, in der Regel aus Porzellan bestehend, von außen durch eine Flamme erhitzt und in rotglühendem Zustande erhalten wird. Im ersten Augenblicke scheint es freilich, als wenn ein solches offenes Glühröhrchen den früher beschriebenen Arbeitsvorgang unmöglich machen würde,



da ja, wie man zunächst denken muß, das frisch angesaugte Gasgemisch sich sofort, oder jedenfalls gleich beim Beginn der Verdichtung, an den glühenden Wandungen des offenen Röhrchens entzünden müßte. Dem ist aber nicht so, vielmehr ist der Vorgang folgender: Hat eine Zündung stattgefunden, so ist am Ende des Auspuffabschnittes das Glühröhrchen mit verbrannten, nicht mehr entzündbaren Gasen gefüllt, die dann auch während des Ansaugens der frischen Ladung nicht vollständig aus dem Röhrchen entweichen können, da es ja auch auf der anderen Seite geschlossen ist. Erst während des Verdichtungsabschnittes werden die in dem Röhrchen befindlichen, nicht mehr brennbaren Gase ebenfalls verdichtet und in den hinteren Teil des Röhrchens gedrückt, während frisches Gasgemisch in das Röhrchen eindringt. Die Einrichtung läßt sich nun so treffen, daß gerade 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, so daß in diesem Augenblicke erst die Zündung erfolgt. In der Tat hat die Erfahrung gelehrt, daß die Zündwirkung derartiger offener Glührohre eine vollkommen sichere ist, und da die ganze Bauart eine außerordentlich einfache ist und eine Ausbesserung, die nur in dem Erfase eines etwa gesprungenen Glühröhrchens besteht, von jedermann leicht und schnell ausgeführt werden kann, hatte sich seinerzeit diese Art der Zündung, die zuerst von Daimler bei seinen Benzinmaschinen angewendet wurde, namentlich für kleinere Maschinen schnell Eingang verschafft und sie ist erst in neuerer Zeit durch die ebenso sicher wirkende, aber weniger feuergefährliche magnet-elektrische Zündung verdrängt worden.

Den Grundgedanken einer solchen magnet-elektrischen Zündung zeigt Abb. 19. Eine Reihe von Stahlmagneten  $m$  umschließt einen sogenannten Anker, d. h. einen mit Drahtwickelungen 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  $f_1$  auf dem Stabe  $s_1$  aufliegt. Die beiden Stäbe  $s_1$  und  $s_2$  stehen in leitender Verbindung mit den Drahtwickelungen

des Ankers. Zu diesem Zwecke ist Stab  $s_1$  isoliert durch die Zylinderwandung hindurchgeführt und durch eine Leitung mit dem einen Pol der Drahtwickelungen 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 Inneren der

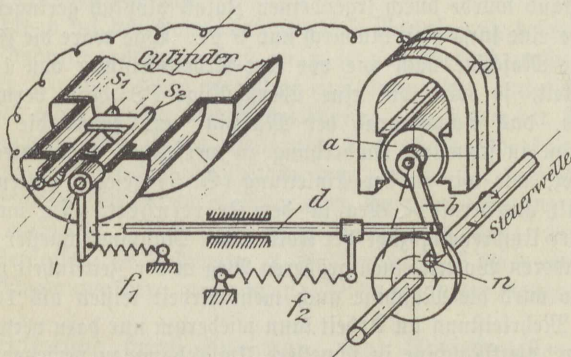


Abb. 19.

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  $b$  erfäßt. 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 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 geschloßartig 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 Arbeits-

vermögen 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 Krafterzeugung der Maschine in der Weise regelt, daß, falls der Arbeitswiderstand auf kurze Zeit wächst, die Maschine mehr Arbeit zu erzeugen imstande ist, und umgekehrt bei abnehmendem Widerstande ihre Arbeitsleistung verringert. 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 allen Klassen von Gasmaschinen drei Arten der Regulierung, deren jede ihre Vorteile und Nachteile hat, so daß man stets von Fall zu Fall entscheiden muß, welche der drei Regulierungsarten den gerade erforderlichen Betriebsbedingungen am besten entspricht. 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. 15, S. 85) 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 Schwungrad 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 Abbildungen 20 und 21 veranschaulicht wird.



Durch die Steuerwelle *s* wird mittelst 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

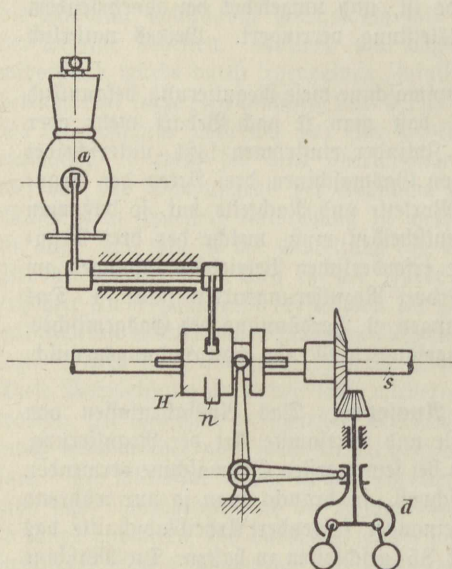


Abb. 20.

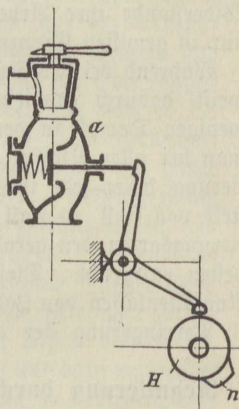


Abb. 21.

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. 21) ein klein wenig gedreht und öffnet auf diese Weise das Gasventil *a*, dessen Zweck bei dem Bau der Maschine S. 89 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. 22), nur mit dem Unterschiede, daß in diesem Falle die Hülse auf der Steuerwelle feststeht. Die Wirkung der Steuerung ist nach dem Vorhergehenden ohne weiteres aus der Abbildung verständlich.

Besitzt die Gasmaschine kein zwangsläufig gesteuertes Gaseinlaßventil, sondern statt dessen ein selbsttätiges Mischventil, wie es auf Seite 90 bei Abb. 18 besprochen wurde, so läßt sich ein Ausfallenlassen von Ladungen oder, wie man auch sagt, das Eintreten von „Aussehern“ auch dadurch erreichen, daß man das Auslaßventil verhindert,

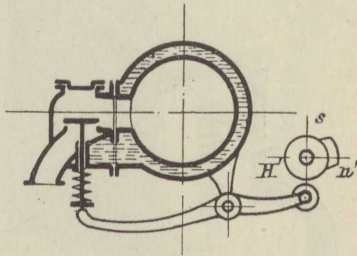


Abb. 22.

sich zu schließen. Die Maschine saugt dann eben bei dem nächsten Arbeitshube kein frisches Gasgemisch an, auch keine reine Luft, wie bei der zuerst besprochenen Ventilanordnung, sondern sie saugt aus der Auspuffleitung die eben ausgestoßenen Auspuffgase in den Zylinder zurück, was, nebenbei bemerkt, den Vorteil gewährt, daß das Innere des Zylinders bis zum nächsten Arbeitshube nicht so stark abgekühlt wird, als wenn nur reine Luft in den Zylinder gesaugt wird. Der Regulator, welcher ein solches Offenhalten des Auslaßventils bewirkt, ist z. B. bei einigen Maschinen von Gebrüder Körting in folgender Weise eingerichtet. Auf der Steuerwelle *W* (Abb. 23 a. f. S.), welche gerade so, wie das früher besprochen wurde, durch eine Zahnräderübersezung im Verhältnisse 1 : 2 von der Hauptwelle angetrieben wird, befindet sich eine kleine Scheibe mit einem Nocken, welcher bei regelrechtem Gange der Maschine, wie aus der Abbildung deutlich zu ersehen ist, in bekannter Weise vermittlest des Winkelhebels *h* das Auslaßventil *S* öffnet. Geht nun die



Maschine zu schnell, so wird in einer gleich näher zu beschreibenden Weise der Winkelhebel  $kr$  nach rechts gedreht, der Arm  $h$  fängt vermittels einer Schneide den Arm  $h$  des erstgenannten Winkelhebels auf und verhindert ihn, sich, nachdem der Nothen vorbei

ist, wieder an die Welle  $W$  anzulegen. Damit wird auch das Ausströmventil verhindert sich zu schließen. Erst wenn der Winkelhebel  $kr$  bei verlangsamtem Gange der Maschine sich wieder nach links bewegt hat, kann sich das Ausströmventil schließen, womit der regelmäßige Gang der Maschine wieder eintritt.

Auf welche Weise nun die eben besprochene Drehung des zweiten Winkelhebels bewirkt wird, zeigt Abb. 24 (a. f. S.), in welcher  $ed$  den ersten,  $cb$  den zweiten Winkelhebel darstellt. Auf der Steuerwelle sitzt nämlich eine Scheibe, an welcher ein um einen Punkt drehbares Gewicht  $a$  angebracht ist. Bei der Drehung der Steuerwelle in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles hat das Gewicht  $a$  das Bestreben, über den Rand der Scheibe hinauszutreten und wird daran durch eine verstellbare Spiralfeder  $h$

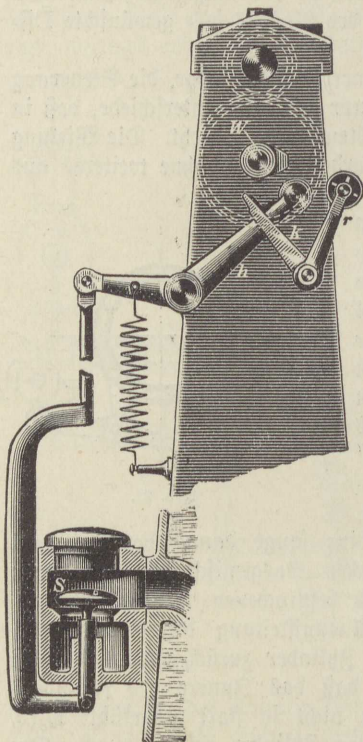


Abb. 23.

verhindert.<sup>1)</sup> Geht die Maschine zu rasch, so wird die Zentrifugalkraft des Gewichts die Spannung der Spiralfeder überwinden, das Gewicht wird über den Rand der Scheibe hinaustrreten und dadurch die in der Figur punktiert angegebene Drehung des Winkelhebels  $bc$  veranlassen. Bei verlangsamtem

1) Die Befestigung der Feder  $h$  an dem Gewicht  $a$  ist in der Abbildung undeutlich.

Gange zieht die Spiralfeder das Gewicht *a* wieder zurück, worauf in der oben beschriebenen Weise der regelmäßige Gang der Maschine wieder eintritt.

Die eben besprochenen Arten der Regulierung mittels „Aussezer“ haben den Nachteil, daß sie einen der Viertaktwirkung an sich schon anhaftenden Übelstand noch bedeutend vergrößern, 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 Übelstande abzuhelpen und eine größere Gleichförmigkeit des Ganges zu erreichen, sind

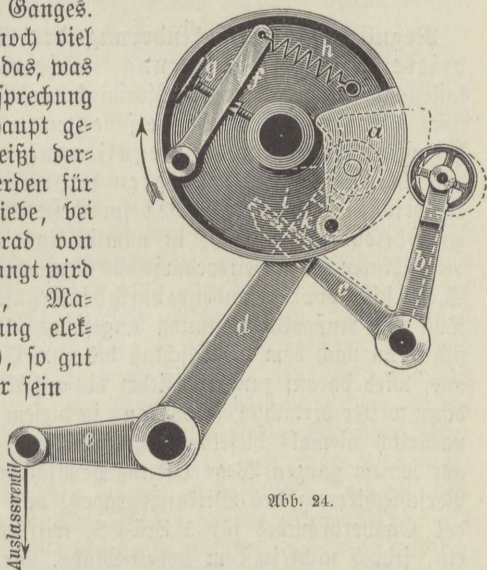


Abb. 24.

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 mittels zunehmender oder abnehmender Verdünnung des Gasgemisches wird zwar der Übelstand eines ungleichmäßigen Ganges wesentlich gemildert, doch tritt hierbei wieder ein anderer Übelstand auf, nämlich der, daß eine solche Regulierung den Gasverbrauch für eine Nutzpferdestärke 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 Ausnützung der sich ausdehnenden Gase ein, was wiederum ein Sinken des Wirkungsgrades, das heißt eine Erhöhung des Gasverbrauches für eine Nutzpferdestärke in der Stunde zur Folge hat.

**Regulierung durch Änderung der Gemischmenge.** Die dritte Art der Regulierung, welche weder durch Ausfassen 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. Hierzu eignet sich die an zweiter Stelle besprochene Ventilanordnung (S. 90) ganz besonders gut. Es ist nämlich in diesem Falle nur nötig, beim Sinken des Arbeitsbedarfs das Gemischeinlaßventil *b* (Abb. 15, S. 85) schon vor dem Hubende durch den Regulator schließen zu lassen. Das mit Außenluftspannung angesaugte Ladungsgemisch dehnt sich dann nach dem Ventilschluß bis zum Ende des Kolbenhubes aus, wird darauf zunächst wieder bis auf Außenluftspannung und dann weiter verdichtet, jedoch kann in diesem Falle die Verdichtung natürlich niemals dieselbe Höhe erreichen, als wenn der Kolben auf seinem ganzen Wege Ladungsgemisch angesaugt hätte. Eine Verschlechterung des Wirkungsgrades, das heißt eine Erhöhung des Gasverbrauches für 1 Std-PS, tritt infolgedessen auch hier ein, jedoch nicht in dem hohen Maße, wie bei der Regulierung durch wechselnde Verdünnung des Gasgemisches. Diese Art der Regulierung ist übrigens noch dahin abgeändert worden, daß das Gemischeinlaßventil *b* während des ganzen Ansaugehubes offen bleibt, dagegen befindet sich vor dem Gemischeinlaßventil eine Drosselklappe, welche von dem Regulator mehr oder weniger geschlossen wird, sodaß auf diese Weise eine geringere oder größere Gewichtsmenge Ladungsgemisch in den Zylinder eintritt. Durch Versuche hat sich gezeigt, daß sich auf diese Weise eine sehr vollkommene Regulierung der Gasmaschine erreichen läßt.

**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 in Folge 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 eine weniger gute Mischung (Diffusion) ein, und eine Folge davon ist eine schlechte, unvollständige Verbrennung und damit zusammenhängend eine Erhöhung des Gasverbrauches. Ferner darf nicht außer acht gelassen werden, daß in jeder Gasmaschine eine bestimmte, stets ungefähr gleichbleibende 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 Kennleistung verbrauchten Gases, und da diese Gasmenge 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 in Folge 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. 25 a. f. S., welches Durchschnittswerte von Messungen ergibt, die an verschiedenen Maschinen vorgenommen wurden.<sup>1)</sup> Die auf der wagerechten Linie aufgetragenen Strecken bezeichnen den Prozentsatz der mit 1 bezeichneten Leistung, für welche die Maschine gebaut wurde (den betreffenden

1) Aus Muzil, Wärmemotoren. Braunschweig 1899.



Teil ihrer Kennleistung), 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 Kennleistung). Beträgt z. B. die Leistung der Maschine nur 0,7, ihrer Kennleistung, so ist der Brennstoffbedarf für 1 Std-PS 1,15 mal so groß wie bei der Kennleistung; beträgt die Leistung nur 0,3 der Kennleistung, so ist der Brennstoffbedarf für 1 Std-PS 1,66 mal so groß als bei der Kennleistung usw.

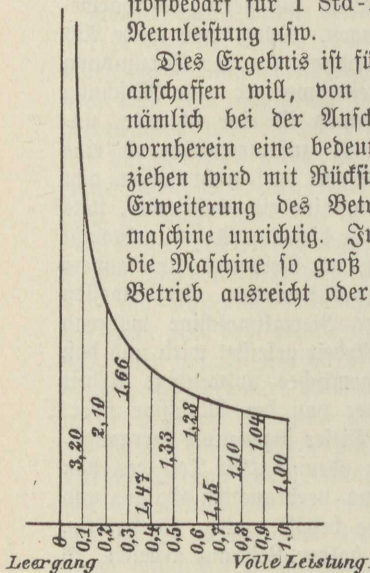


Abb. 25.

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 Betracht 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 un-

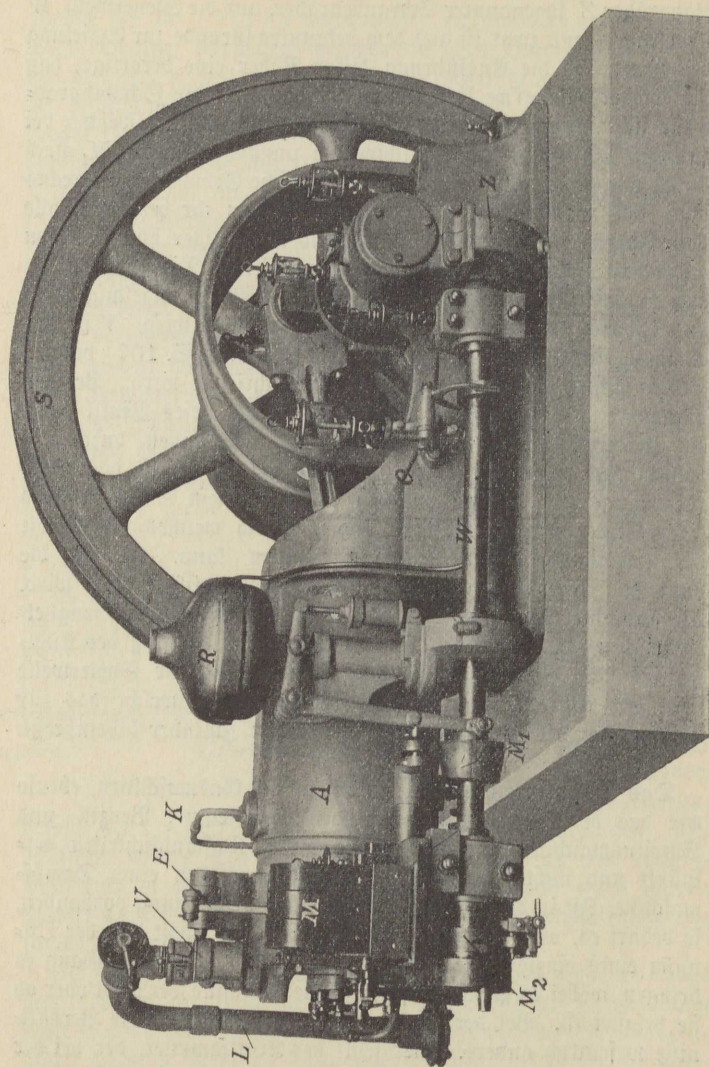
gefähr  $1,33 \times 0,5 = 0,665$  cbm für 1 Std-PS betragen. Die Maschine würde also unwirtschaftlich arbeiten und eine etwaige Ersparnis in den Anschaffungskosten würde durch einen solchen unwirtschaftlichen, teuren Betrieb schon in verhältnismäßig kurzer Zeit wieder verloren gehen.

Als Erweiterung und Erläuterung des früher Gesagten möge hier noch an der Hand der Abb. 26 a. S. 104 die Beschreibung einer Gasmaschine eingefügt werden, wie sie von der Gasmotorenfabrik Deutz in Deutz bei Köln ausgeführt wird. A ist der Zylinder, in welchem sich in der früher besprochenen Weise ein langer Kolben ohne besondere Geradföhrung bewegt. Die Bewegung der Schwung-

radwelle wird durch ein Paar (in der Abb. 26 eingekapfelter) Zahnräder *Z*, sogenannter Schraubenräder, auf die Steuerwelle *W* übertragen, und zwar ist aus dem bekannten Grunde zur Erzielung des Viertaktes die Ausführung dieser Räder eine derartige, daß die Steuerwelle eine Umdrehung macht, wenn die Schwungradwelle sich zweimal herumdreht. *R* ist der Regulatur, welcher bei zu schnellem Gange der Maschine die unrunde Scheibe  $M_1$  nach rechts verschiebt. Da die auf  $M_1$  befindliche Erhöhung von rechts nach links niedriger wird, wird auch die von ihr bewegte Rolle zum Antriebe des Gemischeinlaßventils *E* weniger hoch gehoben und damit dieses Ventil selber weniger geöffnet. Die Folge ist die, daß eine geringere Gewichtsmenge Ladungsgemisch angesaugt wird und dadurch der Gang der Maschine verlangsamt wird. *V* ist das Gehäuse eines Schwimmerventils, wie es später (S. 107) bei den Gasmaschinen für flüssige Brennstoffe beschrieben wird. Bei den Maschinen für gasförmige Brennstoffe wird dieses Ventil durch ein Gaseinlaßventil (oder bei anderen Maschinen durch ein selbsttätiges Mischventil [vgl. S. 90]) ersetzt. *L* ist das Luftzuführungsrohr, welches oben in ein mit einem Stellhebel und einer Skala versehenes Ventil endigt, durch welches die Menge der angesaugten Luft eingestellt werden kann.  $M_2$  ist die unrunde Scheibe, durch welche das Auslaßventil betätigt wird. *M* sind die Magnete der auf Seite 93 erwähnten magnet-elektrischen Zündmaschine. *K* zeigt den oberen Ausfluß des Kühlwassers, die Vorrichtung *O* am rechten Ende der Steuerwelle stellt den Antrieb einer kleinen Ölpumpe dar, welche das zur Schmierung des Kolbens nötige Öl in den Zylinder hineinpreßt.

**Das Ingangsetzen oder „Anlassen“** der Gasmaschinen, ebenso wie das der später zu besprechenden Petroleum-, Benzin- und Spiritusmaschinen, ist stets mit gewissen Umständlichkeiten 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 Arbeits-





habe erforderliche Gas-Luftgemisch selber, und da ein solches Gemisch vor dem Anlassen nicht vorhanden ist, so muß es, für die ersten Hübe wenigstens, eigens hergestellt werden. Das geschieht nun bei allen kleineren Gasmaschinen einfach in der Weise, daß die Maschine mit der Hand (gewöhnlich am Schwungrade) so lange gedreht wird, bis das erste zündfähige Ladungsgemisch sich gebildet und endzündet 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, 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 stets erforderlich sein, die Maschine für sich allein in Gang zu setzen und dann 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. Man kann dazu z. B. eine eigene kleine Hilfsmaschine verwenden, entweder in der Gestalt einer anderen kleinen Gasmaschine oder in der eines Elektromotors. Ferner kann man, ähnlich wie bei der Dampfmaschine, eine Art Kraftsammler dadurch beschaffen, daß man in einem kleinen Vorratsbehälter eine gewisse Menge fertiges Ladungsgemisch ansammelt, welches dann in die Maschine hinübergeleitet und hier in gewöhnlicher



Weise entzündet wird, worauf die Maschine sofort in Gang kommt. Die üblichste, neuerdings bei fast allen größeren Gasmaschinen angewendete Art des Anlassens ist jedoch die, daß man die Maschine zunächst vermittlest verdichteter Luft in rasche Umdrehung versetzt, wobei die dazu nötige Luftmenge entweder durch eine kleine Handpumpe oder auch von der Gasmaschine selbst im Vorrat hergestellt werden kann.

## Sechstes Kapitel.

### Zubehörtheile zur Gasmaschine.

Zu einer mit Leuchtgas betriebenen Gasmaschinenanlage gehören nun 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 Vorrichtung, welche dazu dient, den Verbrauch an Gas in cbm festzustellen. 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.

**Druckregler.** 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. 27. Das Ventil *g* ist an einer Spindel befestigt, welche

mit einem Schwimmer *e* in fester Verbindung steht 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, d. h. wenn der Druck des Gases niedriger ist als gewöhnlich, hebt der Schwimmer das Ventil, was eine Vergrößerung des Durchtrittsquerschnittes 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 durch eine solche Vorrichtung sehr wohl beliebig verkleinern läßt, einfach dadurch, daß man die Zahl der Belastungsgewichte *B* vermehrt, daß aber andererseits der Druck auf der Austrittsseite niemals höher werden kann als der Druck des eintretenden Gases ist.

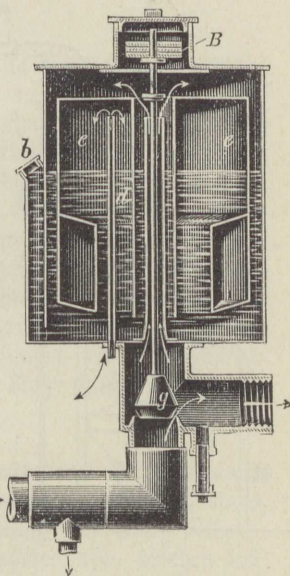


Abb. 27.

**Gummibeutel.** Während nun die Anbringung eines Gasdruckreglers nicht gerade unbedingt nötig ist, darf eine weitere Vorrichtung bei keiner Leuchtgasmaschine fehlen, nämlich 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 etwa in der



Nähe der Gasmaschine brennende Gasflammen bei jedem Arbeits- hube 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 ununter- brochenen starken Druckschwankungen zu vermeiden dazu dient der Gummibeutel *g*, Abb. 28, ein linsenförmiger Beutel aus Gummi,

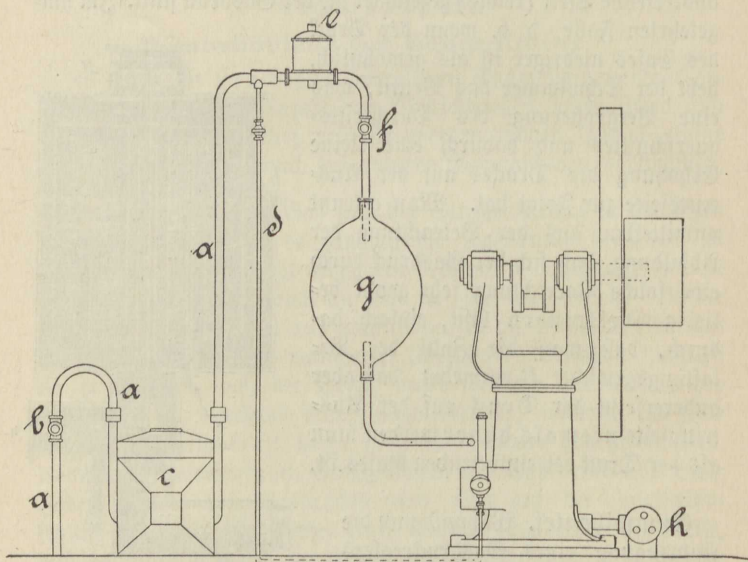


Abb. 28.

welcher mindestens so groß sein muß, daß er etwa 10- bis 14 mal 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 Vorratsbe- hälter dar, aus welchem die Maschine bei dem jedesmaligen An- saugeabschnitt das Gas entnimmt, wobei der Druck in der übrigen Leitung beinahe unverändert bleibt. Die Leitung für das zur Erhitzung des Zündglühröhrchens nötige Gas muß natürlich schon vor dem Gummibeutel abgezweigt werden.

Die **allgemeine Anordnung** der ebenbesprochenen Vorrichtungen in Verbindung mit einer stehenden Leuchtgasmaschine zeigt die

Skizze Abb. 28; 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 Glühröhrchens 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.** Die für die Herstellung des Ladungsgemisches nötige Luft entnimmt man gewöhnlich an einer Stelle, wo die Luft möglichst rein ist, um einer Verschmutzung des Zylinders nach Kräften vorzubeugen. Noch sicherer erreicht man diesen Zweck, wenn man dem Rohre, durch welches die Luft angesaugt wird, eine plötzliche Erweiterung gibt 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 dabei gleichzeitig 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.

**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.





### Dritter Abschnitt.

## Verpuffungsgasmaschinen 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 Rohrnetze gebunden ist. Durch die Errichtung eigener Gas-erzeugungsanstalten namentlich solcher zur Herstellung des früher erwähnten Dowsongases, sowie durch den Bau der Sauggenerator-gasanlagen 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 im allgemeinen die Gasmaschine 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 (das Benzol), sowie die der Braunkohle (Paraffinöl), 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 mancherlei Vorzüge voraus: Zunächst sind sie im Allgemeinen sozusagen viel gehaltvoller als die festen Brennstoffe, da ihr Heizwert (mit Ausnahme des Spiritus durchweg etwa 10000 WE f. d. kg beträgt und somit die Rauminanspruchnahme bei gleichem Heizwerte für Steinkohle und Koks etwa 2—3 mal, für Braunkohle sogar 7—8 mal so groß ist, ganz abgesehen davon, daß sich infolge der flüssigen Beschaffenheit die Aufbewahrung (eben so, wie übrigens auch die Fortbewegung) in vielen Fällen wesentlich zweckmäßiger gestalten läßt als bei festen Brennstoffen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß sich die flüssigen Brennstoffe verhältnismäßig einfach in großer Reinheit darstellen lassen, während bei festen Brennstoffen, ganz besonders z. B. bei Braunkohle, Torf usw. große Mengen unverbrennbarer Bestandteile mit in Kauf genommen werden müssen und bei den gasförmigen Brennstoffen (z. B. Gichtgas, Koksogas) eine weitgehende Reinigung nur in umständlicher und kostspieliger Weise möglich ist.

Als Besonderheit wäre hervorzuheben, daß das Gebiet der Maschinen mit flüssigen Brennstoffen, mit Ausnahme der Dieselmachine, bis jetzt wenigstens, die kleineren und mittleren Leistungen sind (wohl selten über 40—50 PS), und selbst mit der Dieselmachine ist man bisher über Leistungen von 800 PS in einer Maschine nicht hinausgegangen, während bei den Gicht- und Koksogasmaschinen Leistungen von mehreren Tausend PS in einer Maschine heut nichts Seltenes mehr sind.

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. 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.

**Petroleum und Benzin.** Benzin sowohl wie Petroleum sind Flüssigkeiten, welche in einfacher Weise aus einem und demselben Rohstoffe, dem sogenannten Rohpetroleum (bisweilen auch Stein- oder Erdöl genannt), hergestellt werden, einem dickflüssigen Öle, welches namentlich in Amerika, in den Staaten Pennsylvania und Kanada, dann aber auch in Europa, hauptsächlich in der Umgegend der russischen Stadt Baku am Kaspiischen Meere, gewonnen wird. Seiner Beschaffenheit nach ist das Rohpetroleum 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 Zurücktretreten 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 Rohpetroleums gewonnenen Erzeugnisse teilt man gewöhnlich in drei Gruppen ein und rechnet dabei zu der ersten Gruppe alle diejenigen Flüssigkeiten, welche bei Temperaturen bis zu  $150^{\circ}$  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 Kraft-erzeugung, sondern auch im großen wie im kleinen zur Flecken-reinigung viel verwendet wird. Das Benzin hat ein spezifisches Gewicht von etwa  $0,7$  und darf nach einem Beschlusse des Bundes-rates für Krasterzeugung zu gewerblichen Zwecken unter Kontrolle zollfrei in Deutschland eingeführt werden. Die der zweiten Gruppe zugerechneten, bei Temperaturen von  $150$  bis etwa  $300^{\circ}$  über-gehenden Stoffe werden nicht gesondert aufgefassen, sondern bilden in ihrer Gesamtheit das gewöhnliche Lampenpetroleum, im folgenden kurzweg mit Petroleum bezeichnet, dessen spezifi-sches 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 Flüchtigkeit der sich ergebenden Erzeugnisse verringert sich immer mehr und man erhält die zum Schmieren von Maschinen in ausgedehntester Weise verwendeten Mineralschmieröle, sowie schließlich das unter dem Namen Vaseline bekannte Erzeugnis von salbenartiger Be-schaffenheit.

Schon aus der Art der Gewinnung ergibt sich, daß Benzin und Petroleum stark voneinander abweichende Eigenschaften haben werden. Während das Benzin aus Teilen besteht, welche so flüchtig sind, daß sie schon bei Temperaturen von  $80$  bis  $100^{\circ}$  in den dampfförmigen Zustand übergehen, enthält das Petroleum neben verhältnismäßig leichtflüchtigen, gleichzeitig außerordentlich schwerflüchtige Bestandteile, bei denen es der Anwendung von Temperaturen bis zu  $300^{\circ}$  bedarf, um sie in Dampfform über-zuführen. Diese Verschiedenheiten der Eigenschaften wird eine



völlig verschiedene Art der Verwendung zur Kräfteerzeugung erforderlich machen, weshalb die Besprechung der beiden Maschinengattungen, soweit die Bildung des Ladungsgemisches in Frage kommt, gesondert erfolgen muß.

**Benzol.** Die in einem früheren Kapitel (S. 69) erwähnten Koksöfengase enthalten Kohlenwasserstoffverbindungen, die in neuerer Zeit den 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 aber ziemlich genau derselbe wie der des Benzins. 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. Welche Bedeutung das Benzol für die Kräfteerzeugung in Gasmaschinen erlangt hat, dürfte aus der Tatsache hervorgehen, daß, einer Mitteilung der Deutzer Gasmotorenfabrik zufolge, etwa 90 % aller von dieser Fabrik gelieferten Flüssigkeitsmotoren zur Zeit mit Benzol getrieben werden.

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. Sein Preis beträgt gegenwärtig etwa 17 Mark für 100 kg.

**Paraffinöl.** Wie aus der Steinkohle das Benzol, lassen sich auf ähnliche Weise auch aus der Braunkohle Flüssigkeiten gewinnen, welche je nach den Temperaturen, bei denen sie gewonnen werden, Paraffin- und Solaröl genannt werden. Ihr Heizwert beträgt auch etwa 10000 WE f. d. kg. Da sie (in noch höherem Maße als das Petroleum) schwerflüchtig sind, können sie zwar

nur in einer ganz bestimmten Klasse von Maschinen, wie z. B. in den später zu besprechenden Dieselmotoren, zur Kräfteerzeugung verwendet werden, haben aber gerade für diese Zwecke infolge der weiten Verbreitung der Dieselmotoren schon heute eine hohe Bedeutung erlangt. Ihr Preis beträgt zur Zeit beim Bezuge in ganzen Waggons etwa 11 Mark für 100 kg.

**Spiritus.** Der Spiritus und zwar in der Form des gewöhnlichen denaturierten Brennspektrums, hat in den letzten Jahren als Betriebsmittel für Gasmaschinen namentlich in landwirtschaftlichen Kreisen Beachtung gefunden; neben seinen sonstigen, für Kräfteerzeugungszwecke 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 Kräfteerzeugung geeignetes Verpuffungsgemisch sich bei Spiritus leichter herstellen läßt als bei dem gewöhnlichen Lampenpetroleum. Sein Heizwert beträgt etwa nur 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.

### Drittes Kapitel.

#### Die Maschinen.

**Benzin- und Benzolmaschine.** Die einfachste Art aus so leichtflüchtigen Brennstoffen, wie z. B. Benzin, ein zur Kräfteerzeugung in Gasmaschinengemisch 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 feinsühligen, 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 bis 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 heut fast allgemein übliche Art der Gemischbildung. Es wird nämlich die für jede Ladung erforderliche Benzinmenge entweder mittelst einer kleinen Pumpe oder in anderer Weise von dem ganzen Vorrat abgesondert und so fein zerstäubt, 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 Benzinmengen, wie sie für jeden Arbeitshub gebraucht werden, und die Regulierung dieses Zuflusses je nach der wechselnden Leistung der Maschine feinfühligere und empfindlichere Maschinenteile voraussetzt. Abb. 29 stellt den Grundgedanken eines Vergäfers dar, wie er heute 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 mittelst ihrer eigenen Schwere eine Bodenöffnung, durch welche, beim Anheben der Nadel, aus einem höher stehenden Behälter neuer Brennstoff 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 angesaugten Luft das Verpuffungsgemisch, welches nachher in der Maschine, genau wie das früher bei den anderen Gasmaschinen beschrieben wurde, zur Krafterzeugung verwendet wird. Sinkt der Spiegel des Brennstoffes in dem Gehäuse, so sinkt auch der Schwimmer, drückt dadurch, wie die Abbildung erkennen läßt,

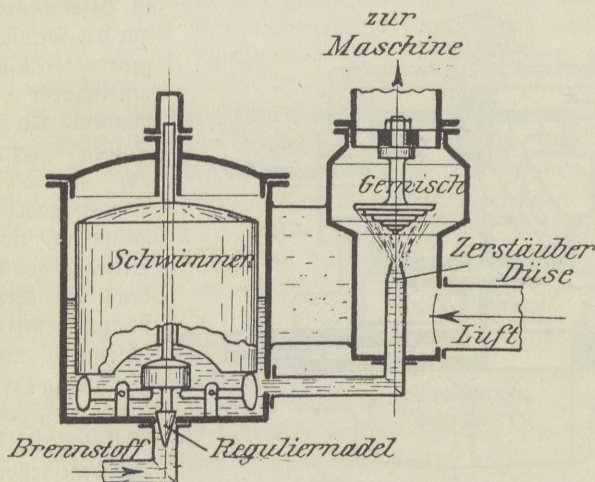


Abb. 29.

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 gleichstarkem Ansaugen immer die gleiche Menge Brennstoff in den Zylinder gelangt. Die auf S. 104 dargestellte Maschine zeigt bei V eine solche Zerstäubereinrichtung.

Statt eines Gehäuses mit Schwimmer kann auch eine kleine von der Maschine selbst angetriebene Pumpe angeordnet werden,



welche die für jeden Viertakt erforderliche Brennstoffmenge aus der Düse herauspreßt, worauf dann die Zerstäubung und weitere Verwendung in derselben Weise erfolgt, wie das eben erläutert wurde.

Auf eine etwas andere Weise wird das Zerstäuben des Brennstoffes von Gebr. Körting erreicht. In einem Zylinder (Abb. 30) befindet sich ein eigenartig gestalteter (in der Abbildung enggestrichelter Kolben, der „Ansaugkolben“, dessen oberer Teil eine Scheibe bildet, während der untere Teil ringförmig gestaltet

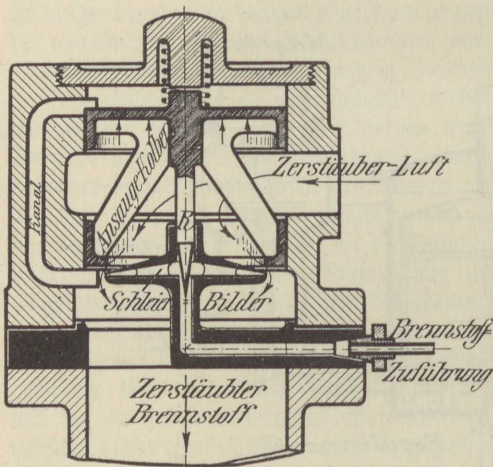


Abb. 30.

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“ aufsteht.

Tritt nun in der Maschine der Saugehub 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 streng vermieden werden, und auch das Einfüllen des Benzins in die zur Maschine gehörigen Behälter muß mit Vorsicht geschehen, unter Fernhaltung aller brennenden 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 heftiger und gefährlicher Explosionen werden kann. Daß das aus Benzol hergestellte Ergin etwas weniger feuergefährlich ist als Benzin und Benzol, wurde schon oben S. 114 erwähnt.

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 Betriebssicherheit nicht nur gleichkommen, sondern sie sogar noch übertreffen.

Erwähnenswert ist schließlich noch der Versuch, den Brennstoffverbrauch bei Benzinmaschinen dadurch günstiger zu gestalten, daß während des Saugabschnittes zusammen mit dem Benzin-Luftgemisch feinerstäubtes Wasser in den Zylinder eingespritzt wurde. Der Zweck dieser Einspritzung ist der, einen Teil der bei der Verdichtung entstehenden Wärme zur Verdampfung des Wassers zu verwenden und so die Möglichkeit zu gewinnen, eine höhere Verdichtungsspannung zu erreichen, ohne die gefährlichen Frühzündungen befürchten zu müssen. Es wurde früher (S. 79 f.) ausführlich erörtert, inwiefern durch eine solche Erhöhung der Verdichtungsspannung vor der Zündung eine Verbesserung der Wärmeausnutzung möglich ist. Derartige Versuche mit Wassereinspritzung wurden z. B. von der Firma Ganz & Co. in Budapest mit Benzinmaschinen der Bauart Bánki angestellt und sollen in einzelnen Fällen bei gleichem Brennstoffverbrauch eine Steigerung der Maschinenleistung um 30 % ergeben haben.

**Petroleummaschinen.** Die große Feuergefährlichkeit des Benzins war der Grund, warum man versuchte, Wärmekraft-



maschinen mit dem weit ungefährlicheren Petroleum zu betreiben. Daß dieser Versuch lange Zeit nicht glückte, und selbst heute noch die gewöhnlichen Petroleummaschinen im allgemeinen nicht den Grad der Betriebssicherheit besitzen, wie alle einigermaßen gutgebauten Benzinmaschinen, liegt einzig und allein daran, daß die Bildung eines zur Kräfteerzeugung brauchbaren Verpuffungsgemisches unter Verwendung von Petroleum viel schwieriger ist, als bei dem leichtflüchtigen Benzin. Da nämlich das Petroleum, wie früher gezeigt wurde, bei Destillationstemperaturen von  $170\text{--}300^{\circ}$  gewonnen wird, enthält es nur Bestandteile, die bedeutend schwerer flüchtig sind als die Bestandteile des bei Destillationstemperaturen von  $80\text{--}100^{\circ}$  gewonnenen Benzins. Infolgedessen verdunstet auch Petroleum bei gewöhnlicher Lufttemperatur so gut wie gar nicht, und seine Entzündungstemperatur liegt so hoch (etwa bei  $60^{\circ}$ ), 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 oder in den gleich näher zu erläuternden nebel förmigen Zustand überzuführen, denn erst in dieser Dampf- oder Nebelform hat das Petroleum die Eigenschaft, mit Luft vermischt ein zur Kräfteerzeugung brauchbares Verpuffungsgemisch zu bilden. Die eben erwähnte Nebelform des Petroleums ist eine Zwischenstufe zwischen dem flüssigen und dampfförmigen Aggregatzustande, die auch beim Wasserdampf beobachtet werden kann, denn das, was man im gewöhnlichen Leben mit Wasserdampf bezeichnet, z. B. die einer Lokomotive beim Anfahren entströmenden Wolken, ist ja eigentlich kein reiner Wasserdampf, das heißt dampfförmiges Wasser, sondern verdichteter Wasserdampf. Beim Ausströmen aus dem Kessel oder aus dem Zylinder einer Maschine verdichtet sich der Wasserdampf in der verhältnismäßig kalten Luft, bildet kleine Bläschen, und diese mit Luft gefüllten Bläschen bilden in ihrer Gesamtheit die gewöhnlich mit „Dampf“ bezeichneten Wolken. Ganz dasselbe ist nun auch beim Petroleum der Fall. Während jedoch die durch Wasserdampf gebildeten Wolken sehr rasch in der Luft verschwinden, hat das Petroleum, wie überhaupt alle Öle und Fette, die Eigentümlichkeit, in dieser Nebelform verhältnismäßig lange zu verharren und, was hier besonders zu

beachten ist, dieser Petroleumnebel bildet mit Luft vermischt, gerade so wie dampfförmiges Petroleum, ein zur Krasterzeugung geeignetes Verpuffungsgemisch. Diese Eigenschaft ist deshalb von so hervorragender Wichtigkeit, weil auf ihr allein die Möglichkeit beruht, Petroleummashinen überhaupt in Gang zu setzen. Wird nämlich bei Beginn des Betriebes das in Dampfform verwandelte Petroleum in die Maschine gebracht, so ist es gar nicht zu vermeiden, daß sich dieser Dampf infolge der verhältnismäßig niedrigen Temperatur, welche zunächst noch in der Maschine herrscht, zum Teil wenigstens verdichtet und in die Nebelform übergeht. Es wäre demnach sehr schwer, wenn nicht unmöglich, eine Petroleummachine in Gang zu setzen, wenn nicht eben zum Glück der Petroleumnebel bezüglich der Bildung eines Verpuffungsgemisches genau dieselben Eigenschaften hätte wie der Petroleumdampf.

Bei den weit auseinander liegenden Temperaturen, unter welchen das Petroleum bei der Destillation übergegangen ist, wird es nun nicht angängig sein, eine größere Menge Petroleum auf einmal zu erhitzen und den dadurch gebildeten Petroleumdampf, mit Luft vermischt, als Ladungsgemisch zu verwenden, aus dem einfachen Grunde, weil hier in noch viel höherem Maße wie bei dem Benzin immer schwerer flüchtige Teile zur Verdampfung gelangen würden, was wiederum eine starke Ungleichmäßigkeit in der Gemischbildung zur Folge haben würde. Es wird somit in diesem Falle eine Gemischbildung nur in der Weise stattfinden können, daß von dem Petroleumvorrat eine kleine für den Arbeitshub der Maschine ausreichende Menge abgesondert, in feine Teilchen zerstäubt und dann in Dampfform übergeführt wird.

Zu jeder Petroleummachine werden demnach zwei wichtige und nicht zu entbehrende Bestandteile gehören, nämlich erstens die Vorrichtung, welche dazu dient, von dem Petroleumvorrat für jeden Arbeitshub einen kleinen Teil abzusondern und zu zerstäuben, und zweitens der sogenannte Verdampfer oder Vergaser, ein in irgendeiner Weise auf hoher Temperatur erhaltener Raum, in welchem das in Staubform verwandelte Petroleum im Dampfform übergeführt wird.

Die Zuführung der zur Bildung des Ladungsgemisches erforderlichen Petroleummenge kann ungefähr in derselben Weise geschehen, wie das früher bei den Benzin- und Benzolmaschinen



besprochen wurde. Das in feinste Teilchen zerstäubte Petroleum muß dann aber in dem sogenannten Verdampfer oder Vergaser in Dampf verwandelt werden, was stets in der Weise zu geschehen pflegt, daß der Petroleumstaub gegen Wandflächen gesprüht wird, welche in irgendeiner Weise dauernd auf hoher Temperatur gehalten werden. Hinsichtlich dieser Temperatur ist zu beachten, daß das Petroleum eine Menge schwerflüchtiger Bestandteile enthält, deren Siedepunkt, wie schon öfters erwähnt, zum Teil erst bei  $300^{\circ}\text{C}$  liegt. Es wird demnach notwendig

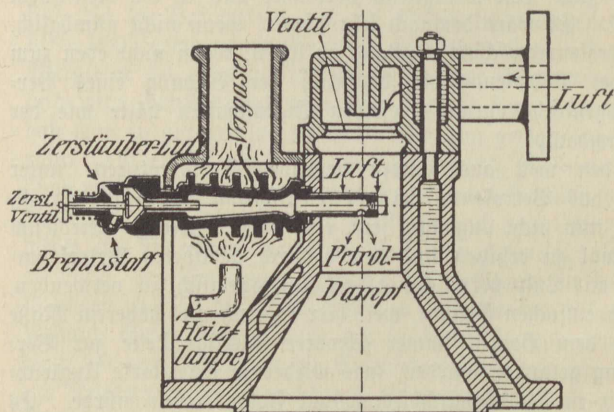


Abb. 31.

sein, die den Verdampfer bildenden Wände, gegen welche das zerstäubte Petroleum gesprüht wird, dauernd auf einer Temperatur zu erhalten, welche mindestens  $300^{\circ}\text{C}$  beträgt. Wäre das nicht der Fall, so würde ein Teil des Petroleums nicht verdampfen können, es würde unverdampft in dem Vergaser zurückbleiben oder in die Maschine gelangen und hier infolge unvollständiger Verbrennung sehr bald zu Verschmutzung und dadurch zu Betriebsstörung Anlaß geben.

Abb. 31 gibt als Beispiel einen Vergaser, wie er von der Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. Ph. Swiderski in Leipzig-Plagwitz bei ihren Petroleummaschinen ausgeführt wird. Die Abbildung stellt den Kopf einer stehenden Maschine dar und zeigt den von der Flamme einer Heizlampe umspülten Vergaser, be-

stehend in einem Rohre, welches außen mit Rippen versehen ist, um möglichst viel Wärme in sich aufnehmen zu können. Das in der Abbildung links befindliche Ende des Vergasers ist durch ein unter der Einwirkung einer Spiralfeder stehendes „Zerstäuber-ventil“ verschlossen. Hinter diesem Ventile (in der Abbildung links davon) befindet sich eine nach oben gerichtete Öffnung zum Eintritte der Zerstäuberluft, sowie eine kleine Vertiefung, in welche durch eine von der Maschine selbst angetriebene kleine Pumpe der für jeden Viertakt erforderliche Brennstoff hineingedrückt wird. Das Innere des in den Zylinder der Maschine hineinragenden Vergasers steht durch eine kleine, am äußersten rechten Ende befindliche, nach unten gerichtete Öffnung mit dem Zylinderinnern in Verbindung. Nach oben hin ist der Zylinder gegen die Außenluft durch ein sich nach innen öffnendes Ventil abgeschlossen, das aber der Einfachheit halber in der Abbildung fortgelassen ist. Die Wirkung dieses Vergasers ist nun folgende: Tritt in der Maschine der Saughub ein, so öffnet sich das Zerstäuber-ventil und der durch die angesaugte Zerstäuberluft fortgerissene und feinerzstäubte Brennstoff dringt in den Vergaser ein. Hier wird er zwar an den glühenden Wandungen verdampft, kann jedoch noch nicht verbrennen, da das entstandene Gemisch zu wenig Luftsaauerstoff enthält. Erst wenn sich der aus dem Vergaser austretende Petroleumdampf mit der gleichzeitig von oben her angesaugten Luft vermischt hat, ist das zur Kräfte-zeugung geeignete Verpuffungsgemisch fertig. Tritt dann der Verdichtungshub ein, so schließen sich sowohl das Zerstäuber- wie auch das Luftventil, das nunmehr zündfähige Ladungsgemisch dringt allmählich in den Vergaser ein, der dann, wenn die Verdichtung aufs Höchste gestiegen ist, gerade so, wie das früher S. 92 besprochene offene Glühröhrchen wirkt und das Gasgemisch entzündet.

Es verdient übrigens hervorgehoben zu werden daß bei Petroleummaschinen mit einem derartigen oder ähnlich wirkenden Verdampfer bisweilen eine eigene Flamme zur Erhitzung des Verdampfers nur während der Inbetriebsetzung der Maschine verwendet wird. Ist die Maschine erst einmal im Gange, so genügt die durch die fortwährenden Verpuffungen erzeugte Wärme, um die für eine Verdampfung des Petroleums und Entzündung des gebildeten Verpuffungsgemisches notwendige Temperatur im Verdampfer zu erhalten.



Auch die sogenannten Benzin-Petroleummaschinen gehören hierher. Es sind dies Maschinen, welche zunächst zwar mit Benzin in Gang gesetzt werden; hat dann aber die Maschine nach einiger Zeit durch die Verpuffungen des Benzingasgemisches die nötige Wärme erhalten, so kann man an Stelle des Benzins fein zerstäubtes Petroleum in die Maschine einspritzen, ohne daß man auch hier eines besonders geheizten Verdampfers bedarf.

**Übelstände der gewöhnlichen Petroleummaschinen.** Es wurde bereits erwähnt, daß der Verdampfer dauernd auf einer Temperatur von mindestens  $300^{\circ}\text{C}$  erhalten werden muß, damit auch die ganz schwerflüchtigen Bestandteile des Petroleums in Dampfform übergeführt werden können. Gerade so wie der Verdampfer müßten nun eigentlich auch alle übrigen Teile der Maschine, mit welchen der mit Luft vermischte Petroleumdampf in Berührung kommt, vor allen Dingen also die Zylinderwände, auf dieser hohen Temperatur dauernd erhalten werden, um ein Verdichten und 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 Zylinderwandungen 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 unvermeidliche 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, da wir ja früher gesehen hatten, daß das Petroleum auch in Nebelform ein Verpuffungsgemisch bildet, so ist doch gerade hierin der Grund für einen anderen Übelstand zu suchen, der fast allen Petroleummaschinen anhaftet: der üble Geruch. Da die Petroleummaschinen ausnahmslos einfachwirkend sind, d. h. da die Zylinder auf einer Seite offen sind (gerade so wie dies früher bei den Gasmaschinen besprochen wurde), so ist es gar nicht zu vermeiden, daß bei jedem Hube die mit dem niedergeschlagenen heißen Petroleumdampfe

bedeckten Zylinderwandungen mit der Außenluft in Berührung kommen. Ein Teil dieses heißen Petroleums verdunstet, teilt sich der umgebenden Luft mit und bildet so die Ursache für den bei fast allen Petroleummaschinen wahrnehmbaren unangenehmen Geruch.

Diese an den Zylinderwandungen anhaftenden, nicht verdampften Petroleumtheilchen bilden ferner auch die Ursache für die lästige und kaum zu umgehende Verschmutzung, welcher die meisten Petroleummaschinen schon nach verhältnismäßig kurzer Betriebsdauer ausgesetzt sind. Selbst bei der durch die Zündung eintretenden sehr hohen Temperatur können nämlich jene nicht verdampften Petroleumtheilchen gar nicht oder nur unvollständig verbrennen, da es ihnen an der zu ihrer Verbrennung erforderlichen Luftmenge fehlt. Durch die unvollständige Verbrennung bildet sich aber Ruß (dieselbe Erscheinung wie bei einer zu hoch geschraubten Petroleumlampe) und dieser Ruß gibt dann, mit Schmieröl vermisch, pechartige Rückstände, welche in verhältnismäßig kurzer Zeit eine Verschmutzung des Zylinderinneren, sowie der einzelnen feinfühligten Einlaß- und Auslaßvorrichtungen herbeizuführen.

Eine dritte üble Folge der in den meisten Petroleummaschinen stattfindenden unvollkommenen Verbrennung des Ladungsgemisches ist die Belästigung der Nachbarschaft durch die der Maschine entströmenden Auspuffgase, welche sich nicht allein durch ihren üblen Geruch auf weite Entfernung hin in unangenehmer Weise bemerkbar machen, sondern oft genug bei zunehmender Verschmutzung der Maschine die ganze Umgegend des Auspuffrohres mit Kohlenrußtheilchen überschütten. Würde das in die Maschine gelangende Ladungsgemisch vollkommen verbrennen, so wäre nicht nur solches Austreten von Kohlenrußtheilchen unmöglich, sondern die Auspuffgase müßten auch ganz oder doch wenigstens nahezu geruchlos sein, gerade so wie die einer gut brennenden Petroleumlampe entströmenden Gase vollständig geruchlos sind.

Daß eine solche unvollkommene Verbrennung, wie sie fast allen Petroleummaschinen eigentümlich ist, auch auf den Petroleumverbrauch von Einfluß sein muß, bedarf kaum der Erwähnung. In der That bezieht sich der früher angegebene Petroleumverbrauch von durchschnittlich 0,45 l für Stunde und Pferdestärke nur auf solche Maschinen, die erstens voll belastet sind, das heißt mit ihrer Nennleistung arbeiten, und die zweitens in gutem Zustande erhalten werden. Bei abnehmender Leistung tritt infolge der



vielen Ausseher eine starke Abkühlung der Maschine ein, die Verbrennung wird immer unvollkommener, die Verschmutzung nimmt zu und der Petroleumverbrauch für Stunde und Pferdestärke steigt sofort bedeutend, nicht selten auf das Doppelte der angegebenen Größe und darüber.

**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 pflegt man, um eine noch innigere Vermischung des Spiritus und der Luft herbeizuführen, nach erfolgter Zerstäubung ähnlich wie bei Petroleummaschinen unter Zuführung von Wärme den Spiritus zu verdampfen. Eine solche Verdampfung bereitet gar keine Schwierigkeiten, da hierfür beim Spiritus wesentlich geringere Wärmemengen und wesentlich niedrigere Temperaturen nötig sind als beim Petroleum. Sie wird in der Weise ausgeführt, daß man entweder die angesaugte Luft allein oder aber das nach der Zerstäubung vorhandene Spiritus-Luftgemisch anwärmt.

Einer eigenen Wärmequelle bedarf es hierzu nicht, es genügt vielmehr, die Luft oder das Spiritus-Luftgemisch durch Rohre hindurchstreichen zu lassen, die von den heißen Abgasen oder auch nur von dem aus dem Zylindermantel abfließenden Kühlwasser umspült werden. Ja, einzelne Fabriken verzichten sogar vollständig auf eine besondere Vorwärmung, da 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.

Ob nun aber die Abgase oder das abfließende Kühlwasser zur Vorwärmung benutzt werden, jedenfalls erkennt man, daß in beiden Fällen Wärme eben nur dann zur Verfügung steht, wenn die Maschine einmal im Gange ist, daß aber ein Anlassen der Maschine auf diese Weise unmöglich ist, da man ja bei Beginn des Anlassens weder heiße Abgase noch warmes Kühlwasser zur Verfügung hat. Das ist der Grund, warum Spiritusmaschinen zunächst mit Benzin oder Ergin angelassen werden müssen, 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, wie wir (S. 122 f.) sahen, 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 Verdampfungsunfähigkeit 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 gewöhnliche Benzinmaschinen ohne Wassereinspritzung der höchste zulässige Verdichtungsdruck nur etwa  $5\text{—}6$  atm, bei Petroleummaschinen nur etwa 4 atm beträgt. Der Grund für die Möglichkeit einer so hohen Verdichtung beim Spiritus-Luftgemisch 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, wie früher ausführlich erörtert wurde, der Grund



für eine Wärmeausnutzung, wie sie in gleich vorzüglicher Weise bisher nur von der später zu besprechenden Dieselmachine erreicht wurde (vgl. S. 45).

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. Dieser Übelstand hat zur Folge, daß trotz der vorzüglichen Wärmeausnutzung die Brennstoffkosten für die Std-PS bei Spiritusmaschinen wesentlich 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 Feuergefährlichkeit 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.

## Vierter Abschnitt.

### Gasmaschine mit langsamer Verbrennung (Dieselmaschine).

**Allgemeines.** Zu den in den vorhergehenden Abschnitten behandelten neueren Wärmekraftmaschinen ist in dem letzten Jahrzehnt des verflossenen Jahrhunderts noch eine weitere hinzutreten, welche zwar im allgemeinen Aufbau den übrigen Gasmaschinen ähnlich, in ihrer Wirkungsweise jedoch in wesentlichen Punkten von ihnen abweicht; es ist die nach ihrem Erbauer benannte Dieselmaschine.

Die große Begeisterung, welche der neuen Maschine in den ersten Jahren sowohl von Seiten zahlreicher Fachleute, als auch in Laienkreisen vielfach entgegengebracht wurde, hat sich gelegt und die überschwänglichen Erwartungen, welche seinerzeit von der Maschine eine Umwälzung auf dem gesamten Gebiete der Wärmekraftmaschinen erhofften, haben sich nicht erfüllt. Trotzdem bedeutet aber die Erfindung der Dieselmaschine einen Erfolg auf dem Gebiete der Wärmeausnutzung, der dadurch an Bedeutung gewinnt, daß er nicht etwa das Ergebnis eines Zufalles, sondern einzig und allein das eines ernststen Studiums ist, des Studiums der mechanischen Wärmetheorie, deren Hauptsätze wir in der Einleitung kennen gelernt haben.

**Hohe Verdichtung.** Um den Fortschritt zu verstehen, welcher in der Erfindung Diesels 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 nutzbare Arbeit umgewandelten Wärme zur gesamten aufgewendeten Wärmemenge (S. 27) um so



höher wird, je kleiner das Volumen ist, bei welchem die Zündung stattfindet, oder auf Viertaktmaschinen angewendet, daß die der Maschine zugeführte Wärme um so besser ausgenutzt wird, je höher die Verdichtung vor der Zündung getrieben wird. Wir hatten gesehen, daß schon hierdurch allein der „neue Otto“ der alten Venoirmaschine überlegen war und hatten gefunden, daß eben wegen der höheren Verdichtung der thermische Wirkungsgrad der Kraftgas- und Gichtgasmaschine besser ist als der der

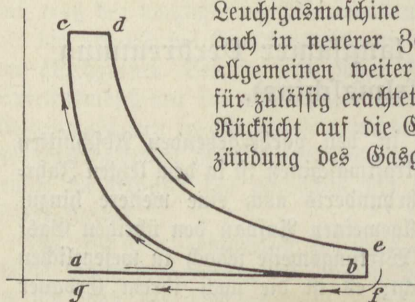


Abb. 32.

Leuchtgasmaschine (S. 80). 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 zwischen 4 und 15 atm schwanken. Da nun bei der Dieselmachine

die Verdichtung vor der Zündung etwa bis auf 35 atm Überdruck getrieben wird, so erkennt man leicht, daß der thermische Wirkungsgrad der Dieselmachine wesentlich höher, das heißt die Wärmeausnutzung wesentlich besser sein muß, als bei allen bisher besprochenen neueren Wärmekraftmaschinen.

Das Mittel, welches Diesel anwendet, um ohne Gefahr einer vorzeitigen Selbstzündung eine derartig hohe Verdichtung vor der Zündung zu ermöglichen, besteht darin, daß er den Brennstoff nicht schon während des Ansaughubes der Luft beimischt, sondern die Maschine nur reine Luft ansaugen und diese Luft allein bis auf die vorher angegebene Höhe verdichten läßt.

Die im Viertakte arbeitende Maschine wird mit ganz geringen Ausnahmen bis jetzt nur als stehende Maschine gebaut und zwar im allgemeinen in der Anordnung, wie sie durch die Skizze Abb. 17, auf S. 87 gekennzeichnet wird. Die zur Erzielung der verschiedenen Arbeitsabschnitte erforderlichen Ventile sind in dem Deckel des Arbeitszylinders untergebracht.

**Arbeitsweise.** Die durch das Diagramm Abb. 32 erläuterte Arbeitsweise der Dieselmachines ist nun die folgende.

Geht der Maschinenkolben nach abwärts, so saugt er während des ganzen Hubes *ab* reine Luft an. Während des zweiten Hubes verdichtet dann der nach aufwärts gehende Kolben 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° gesteigert wird (Kurve *bc*). Ist der Kolben im oberen Totpunkte angekommen, so beginnt die Zuführung des Brennstoffes. In fein verteiletem Zustande während des Kolbenweges *cd* in die glühend heiße Luft eingeführt, entzündet sich der Brennstoff in dem Maße, wie er eingeführt wird, augenblicklich und verbrennt, da er ja Luft in genügender Menge vorfindet, sofort in vollkommenster Weise. Dann findet während des übrigen Kolbenhubes *de* 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.

Der ebenbesprochene Kreisprozeß weist verschiedene Eigentümlichkeiten auf, durch welche er sich wesentlich von dem Kreisprozeße der früher behandelten Viertaktmaschinen unterscheidet. Auf die bedeutend höhere Verdichtung vor dem Eintritte 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. Alle früher besprochenen Gasmaschinen im engeren und weiteren Sinne haben den Übelstand gemeinsam, daß das ganze zur Verwendung gelangende Ladungsgemisch sich, wenn auch nicht augenblicklich, so doch außerordentlich rasch mit einem Male entzündet.

Bei der Dieselmachine liegen die Verhältnisse anders. Hier wird der Brennstoff allmählich eingeführt, und es ist leicht zu ersehen, daß man den Eintritt des Brennstoffes in den Zylinder ganz nach Belieben wird regeln können, beispielsweise so, daß während der Verbrennung entweder die Temperatur oder die Spannung gleichbleiben.



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

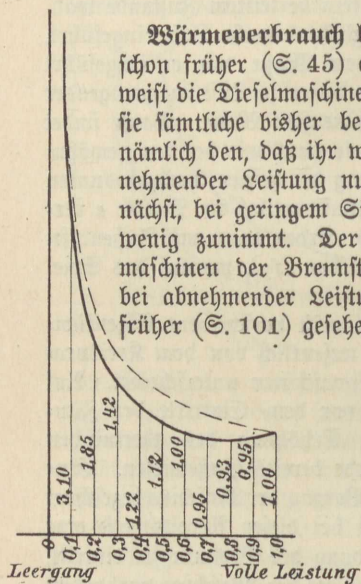


Abb. 33.

**Wärmeverbrauch bei sinkender Leistung.** Neben der schon früher (S. 45) erwähnten guten Wärmeausnutzung weist die Dieselmachine noch einen Vorteil auf, durch welche sie sämtliche bisher besprochenen Gasmaschinen übertrifft, nämlich den, daß ihr wirtschaftlicher Wirkungsgrad bei abnehmender Leistung nur langsam abnimmt, ja sogar zunächst, bei geringem Sinken des Arbeitsbedarfes, ein klein wenig zunimmt. Der Grund, warum bei Verpuffungsmaschinen der Brennstoffbedarf für eine Nutzperdestärke bei abnehmender Leistung so stark wächst, liegt, wie wir früher (S. 101) gesehen hatten, vor allen Dingen in der mehr oder minder mangelhaften Regulierung. Demgegenüber ist die Regulierung der Dieselmachine eine vorzügliche zu nennen, und zwar besteht sie darin, daß bei abnehmendem oder zunehmendem Arbeitsbedarfe die Brennstoffzufuhr kürzere oder längere Zeit andauert. Wird nun aber bei abnehmender Leistung weniger Brenn-

stoff eingeführt, so findet der Brennstoff eine 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 immer vollkommener, 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 die-

selben 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 langsamer, als dies bei den gewöhnlichen Verpuffungsmaschinen der Fall ist.

Sehr deutlich zeigt dies die Schaulinie<sup>1)</sup>, Abb. 33, welche in derselben Weise erhalten wurde, wie die, welche durch Abb. 25 S. 102 den Brennstoffbedarf der Verpuffungsmaschinen bei abnehmender Leistung darstellt. Bezüglich der Erklärung kann auf die damaligen Erörterungen verwiesen werden. Die in die Abb. 33 eingetragene punktierte Linie stellt noch einmal die Schaulinie der Abb. 25 dar, um das Sinken des Wirkungsgrades bei den beiden Maschinengattungen, Verpuffungsmaschinen und Dieselmachine, vergleichen zu können.

Infolge des langsamen Sinkens des Wirkungsgrades wird die Dieselmachine namentlich da mit Vorteil verwendet werden können, wo der Arbeitsbedarf ein sehr schwankender ist, während, wie wir früher gesehen hatten, die Verpuffungsmaschinen nur dann wirtschaftlich arbeiten, wenn der Arbeitsbedarf ein vollständig oder nahezu gleichbleibender ist und von der Nennleistung der Maschine möglichst wenig abweicht.

Es ist dies ein Punkt, der für die Verwendung der Dieselmachine nicht selten von ausschlaggebender Bedeutung ist. Bei fortdauernd gleichem oder doch nur in sehr engen Grenzen schwankendem Kraftbedarf wird die Dieselmachine, was 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 weit unter die Nennleistung der Maschine heruntersinkt, tritt die Überlegenheit der Dieselmachine sofort zutage, da eben in diesem Falle bei ihr infolge des nur wenig schwankenden Brennstoffverbrauchs für die Std-PS die Wirtschaftlichkeit größer wird als bei allen anderen Gasmaschinen mit ihrem wesentlich erhöhten Gasverbrauch bei sinkender Leistung.

**Einzelheiten der Maschine.** Auf die besondere Bauart der Dieselmachine mit allen ihren Einzelheiten kann hier nicht

1) Musil, Wärmemotoren. Braunschweig 1899.



näher eingegangen werden. Nur einige dieser Einzelheiten mögen noch erwähnt werden und zwar deshalb, weil sie gerade der Dieselmachine eigentümlich sind.

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 ein sogenanntes Zerstäuberventil. Durch dieses Ventil wird nun in dem Augenblicke, wo die Einführung des Brennstoffes erfolgen soll, Luft von sehr hoher Pressung (50—60 atm) hindurchgepreßt und so der in dem Ventil befindliche Brennstoff in ganz fein verteiltem Zustande in den Zylinder hineingeblasen. Zur Erzeugung dieser hochverdichteten Luft dient eine ebenfalls von der Maschine selbst angetriebene „Luftpumpe“, welche eine Eigentümlichkeit gerade der Dieselmachine bildet. Diese Luftpumpen besitzen bei den neueren Ausführungen einen Niederdruck- und einen Hochdruckzylinder, in welchen nacheinander die Luft auf die verlangte Pressung von etwa 60 atm verdichtet wird. Eine Regelung der gelieferten Luft geschieht in der Weise, daß bei geringem Luftbedarf ein in der Saugleitung befindliches Ventil vom Maschinenwärter teilweise geschlossen wird, so daß die angesaugte Luft gedrosselt, das angesaugte Luftgewicht also vermindert wird.

Um übrigens immer einen Vorrat an Einblaseluft zur Verfügung zu haben, wird die von der Pumpe erzeugte Preßluft in ein besonderes neben der Maschine aufgestelltes Einblasefäß hineingedrückt, von welchem sie dann, mittels der „Einblaselitung“ in dem geeigneten Zeitpunkte durch die Steuerung der Maschine zu dem Zerstäuberventile geleitet wird.

**Anlassen.** Außer zu dem eben genannten Zwecke wird jene Luftpumpe gleichzeitig auch noch dazu verwendet, die zum Anlassen der Maschine nötige Druckluft zu erzeugen, welche in einem oder in der Regel in zwei, ebenfalls neben der Maschine stehenden Gefäßen, dem sogenannten Anlaß- und Reserveanlaßgefäße, aufgespeichert wird.

Infolge dieser Vorrichtung gestaltet sich das Anlassen der Dieselmachine sehr einfach. Die Maschine wird mit irgendeiner Hilfsvorrichtung so eingestellt, daß der Kolben eben die obere

Totlage überschritten hat; dann wird durch ein geeignetes Ventil der Raum über dem Kolben mit dem oben erwähnten Anlaßgefäß in Verbindung gebracht, die verdichtete Luft drückt auf den Kolben und setzt so die Maschine in Gang. Ist die erfahrungsgemäß notwendige minutliche Umdrehzahl der Maschine erreicht, was meist schon nach wenigen Hieben der Fall ist, so wird die Verbindung mit dem Luftbehälter abgeschlossen, worauf der gewöhnliche Gang der Maschine beginnt. Sollte durch irgendeinen Zufall der Druck in dem Luftbehälter verloren gehen, so ist Vorsorge getroffen, daß die Maschine auch mit verdichteter Kohlensäure in Gang gesetzt werden kann.

**Die zum Betriebe geeigneten Brennstoffe.** Ein nicht zu unterschätzender Vorteil der Dieselmachine besteht endlich darin, daß man, theoretisch wenigstens, in der Wahl des zum Betriebe der Maschine verwendbaren Brennstoffes fast unbeschränkt ist, da sämtliche flüssigen wie gasförmigen Brennstoffe zum Betriebe der Maschine verwendet werden können, ja es wurden sogar schon Versuche angestellt, Steinkohlen in gepulvertem Zustande als Brennstoff in den Zylinder einzuführen.

Praktisch stellen sich allerdings der Verwendung gasförmiger und fester Brennstoffe mannigfache Schwierigkeiten in den Weg, so daß bis jetzt ausschließlich flüssige Brennstoffe als Betriebsmittel verwendet werden, von denen die folgenden bereits durch Versuche erprobt sind: 1. Alle Benzinarten; 2. alle Arten von Lampenpetroleum; 3. die durch Destillation deutscher Braunkohle gewonnenen Öle (Paraffinöl, Solaröl); 4. amerikanische, russische, galizische und deutsche Rohöle, wie sie aus den Quellen kommen; 5. russische Naphtarückstände, das sogenannte Masut; 6. Rohspiritus und endlich 7. ein Gemenge von Spiritus und Benzol.

Gerade die Möglichkeit der unmittelbaren Verwendung der verschiedenen Arten von Rohpetroleum sichert der Dieselmachine ein ausgedehntes Anwendungsgebiet, ganz besonders natürlich für solche Länder und Gegenden, in denen derartige Öle in großen Mengen vorkommen. Bedenkt man z. B., daß 100 kg des billigsten Rohöles in Deutschland ab Grube wohl kaum unter 8 Mark zu haben sind, daß dagegen in Rußland 100 kg Rohnaphta und dessen Rückstände in den Petroleumgegenden des Kaspiischen Meeres stellenweise nur etwa eine Mark kosten, so



wird man ohne weiteres die wirtschaftliche Bedeutung einer Maschine anerkennen müssen, welche wie die Dieselmachine mit einem so billigen Brennstoffe durchaus zuverlässig arbeitet.

**Übelstände der Dieselmachine.** All den erwähnten Vorteilen der Dieselmachine 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 Dieselmachine in besonders verschärfter Weise 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 einmal sehr schwere Schwungräder braucht, und daß, wenn eine besonders große Gleichförmigkeit des Ganges verlangt wird, die Maschine mindestens als Zwillingmaschine ausgeführt werden muß, so daß dann, wie früher (S. 76) 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 Dieselmachine 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 den Wellenlagern, sowie überhaupt in dem ganzen Gestänge der Maschine höher werden als bei anderen Gasmaschinen, wodurch wiederum der Verbrauch an Schmieröl erhöht, 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 Dieselmachine ungleich höher ist als der anderer gleichstarker Gasmaschinen.

Dieser hohe Herstellungspreis hat nun wieder weitere mißliche Folgen. Für kleinere Maschinen, etwa unter 8 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 Dieselmachine 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 Beschaffenheit des Brennstoffes von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Größere Leistungen als 200 PS<sub>n</sub> in einem Zylinder sind bis jetzt noch nicht ausgeführt worden, so daß bei größerem Kraftbedarf Maschinen mit 2, ja selbst 4 nebeneinander angeordneten Zylindern ausgeführt werden.

Ziehen wir aus dem Gesagten den Schluß, so sehen wir, daß die Dieselmachine in theoretischer Hinsicht unter allen Umständen einen Fortschritt unter den neueren Wärmekraftmaschinen darstellt. Dieser Fortschritt ist zwar nicht so bedeutend, daß dadurch an eine völlige Verdrängung der übrigen Wärmekraftmaschinen gedacht werden könnte, aber andererseits wird es doch stets Verhältnisse geben, in denen die Dieselmachine infolge ihrer Befähigung, selbst die minderwertigsten Brennstoffe in unübertroffener Vollkommenheit bei großer Einfachheit des Betriebes zu verwerten, große Vorzüge vor sämtlichen anderen Wärmekraftmaschinen aufweisen wird, so daß ihr unter allen Umständen ein großes Anwendungsgebiet gesichert bleibt.

Daß dem so ist, beweist schon die große Zahl von Dieselmachines, die fast über die ganze Erde verbreitet sind und von denen allein die „Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg“ bis Anfang Mai 1908 Maschinen von insgesamt rund 1700 Zylindern und einer Leistung von über 90000 PS teils schon geliefert, teils noch in Auftrag hatte.



## Schluß.

### Warum baut man noch Dampfmaschinen?

Zum Schlusse unserer Betrachtungen möge etwas näher auf eine Frage eingegangen werden, welche früher schon einmal (S. 39) kurz gestreift wurde, nämlich auf die Frage: Warum baut man denn eigentlich heutzutage 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 bestimmten 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 Schmiervorrichtung 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.

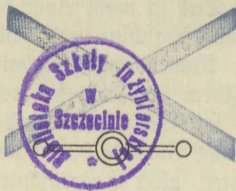
Sehr mißlich ist ferner, daß Gasmaschinen nur in einer Richtung umlaufen können, daß sie also, wie man sagt, nicht umsteuerbar sind. Das ist wohl einer der größten Übelstände im Gegensatz zur Dampfmaschine und schließt die Gasmaschine von einer Reihe von Anwendungsgebieten fast vollständig aus, wo sie sonst in der Form der Koks-Ofen-Gasmaschinen 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 eintretenden 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 verlangsamt zwar ihren Gang, gegebenenfalls so stark, daß sie eben nur noch über die beiden Totpunkte hinwegkommt, sie arbeitet aber doch ruhig fort, da die Größe der Arbeitsleistung während einer Umdrehung, das heißt die Größe des Diagrammes sich bei verlangsamttem 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. 102) 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.

Abmessungen der Gasmaschinen 69.

Abreißzündung 93.

absolute Temperatur 20.

adiabatische Zustandsänderung 24.

Aggregatzustand 30.

Anlassen von

Dieselmaschinen 134.

gewöhnlichen Gasmaschinen 105, 138.

Petroleummaschinen 124.

Spiritusmaschinen 126.

Anlaßvorrichtungen 105, 134.

Ansaugabschnitt 77.

Ansaugefolben 118.

Ansaugetopf 109.

Anthrazitverbrauch 45, 66.

Arbeit 2, 6.

Atmosphärendruck 11.

atmosphärische Gasmaschine 53, 71.

Auslaßventil 89, 97.

Auspuffabschnitt 82.

Auspuffmaschine 34.

Auspufftopf 109.

Ausseher 95, 97.

Bänke 119.

Benzin 112.

— gaserzeuger 117, 118.

— maschinen 115.

— — mit Wassereinspritzung 119.

— —, Vorteile der 119.

— verbrauch 46.

Benzol 114.

— zerstäuber 117.

Beschreibung einer Gasmaschine 103.

Betriebskosten der Gasmaschinen 50.

Boyle 22.

Brennstoffkosten 49.

— pumpe bei Dieselmaschinen 134.

— verbrauchszahlen 46.

Clerk 60.

Dampferzeugung 33.

— heizungen 32.

— maschinen 30.

Diagramm 11, 15, 16.

— der atmosphär. Gasmasch. 54.

— — Dieselmaschine 130.

— — Lenoirmaschine 16.

— — gewöhnlichen Viertaktmasch. 75.

Dieselmaschine 129 ff.

Diffusion 58, 78, 79, 101.

Dowsongas 63 ff.

Druckgas 67.

Druckregler 106.

Einblaseluft bei Dieselmaschinen 134.

Eintaktmaschine 84.

Energie, Satz von der Erhaltung der 16.

Erfindung des Leuchtgases 51, 57.

Ergin 114.

— vergaser 117.

Ericson 39.

Erzeugung von Kraft 17.

Explosion eines Dampfkessels 33.

— von Gas 60.

Flaschenzug 2, 3.

Ganz & Ko. 119.

Gasdruckregler 106.

— gemische 61, 69, 79.

— maschine, erste 41, 52.

— uhr 106.

— ventil 69, 103.

— verbrauch 43.

Gay-Lussacs Gesetz 21, 22.

Gemischänderungsregulierung 99.

— einlaßventil 89.



Geradführung des Kolbens 86.  
 Geruch bei Petroleummaschinen 124.  
 Gesamtwärme des Dampfes 33.  
 Gichtgas 67.  
 Glührohr 91.  
 Gummibeutel 107.

Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie 17.

Heißluftmaschinen 39.

Heizwert 43.

— von Anthrazit 44.

— — Benzin 45.

— — Benzol 45.

— — Dampfgas 66.

— — Gichtgas (Hochofengas) 68.

— — Koks-Ofengas 69.

— — Petroleum 46.

— — Spiritus 46.

— — Steinkohle 46.

Indikator 9, 12.

Indizierte Leistung 9.

— e Pferdestärke 8.

— r mittlerer Druck 15.

Ingangsetzen, siehe Anlassen.

Isothermische Zustandsänderung 22.

Kalorie 16.

Kleinraftmaschinen 48.

Koks 58.

Kolbengeschwindigkeit 72.

— geradführung 86.

Kondensationsmaschinen 34.

Kondensieren des Dampfes 32

Körtingmaschine 84.

Kosten der Kräfteerzeugung 50.

Kraft 1, 6.

Kraftgas 63.

— anlage 65.

Kraftmaschinen 4.

Kreisprozeß 25.

Kühlung der Zylinder 61, 87.

Kühlwasserbedarf 87.

Kurbel 85.

Laderaum 78.

landwirtschaftliche Maschinen 128.

Langen, Otto & — 53.

latente Wärme 31.

Lebon 51, 57.

Leergangsgasverbrauch 101.

Leistung 5.

— Berechnung der 11, 15.

— indizierte 9.

Lenoir 41, 52, 71, 91.

Leuchtgas 57.

— erfindung 51, 57.

Luftpumpe bei Dieselmotoren 134.

— — Zweitaktmaschinen 84.

Magnetelektrische Zündung 92.

Mariottes Gesetz 22.

Mariotte-Gay-Lussacs Gesetz 24.

Masut 135.

Mayer, Robert 16.

mechanischer Wirkungsgrad 9.

Mischung des Gases mit Luft 58,  
61, 70, 78.

Mischventil 89, 103.

mittlerer indizierter Druck 15.

Murdoch 57.

Nebelform des Petroleums 120.

Nennleistung 102.

Nocken 96.

Nulipunkt, absoluter 20.

Nutzpferdekraft 7.

Öschelhäusermaschine 83.

Otto 56.

Otto & Langen 53, 71.

Paraffinöl 114.

Petroleum 112.

— maschinen 120.

— — Uebelstände der 124.

— verbrauch 45.

Pferdekraft 7.

Pleuelstange 85.

Pumpen für Brennstoff bei Dieselmotoren 134.

— bei Zweitaktmaschinen 84.

Reduziervorrichtung bei Indikatoren 13.

Regulator 106.

Regulirnadel 117.

Regulierung der gewöhnlichen  
 Viertaktmaschinen 95 ff.  
 — — Dieselmachines 132.  
 Regulierung der Kraftmaschinen  
 94, 139.  
 Rohnaphta 135.

Sauggas 66.  
 Schieberflammenzündung 91.  
 Schleierbilder 118.  
 Schmierölverbrauch bei Lenoir-  
 maschinen 53.  
 — bei Dieselmachines 136.  
 Schwungrad bei gewöhnlichen Vier-  
 taktmaschinen 76, 94.  
 — bei Dieselmachines 136.  
 Selbstzündung 80.  
 Strubber 67.  
 Solaröl 114, 135.  
 Spiritus 115.  
 — maschinen 126.  
 — verbrauch 46.  
 Spülluft 84.  
 Steuerung der Viertaktmaschinen 88.  
 Steuerwelle 88.  
 Stundenpferdestärke 27, 36.  
 Swiderski 122.

Temperatur, absolute 20.  
 Thermischer Wirkungsgrad 26.

Übelstände d. Dieselmachines 136.  
 — — gewöhnlichen Petroleum-  
 maschinen 124.

Überdruck 11.  
 Überlastung der Gasmaschinen 139.  
 Untereuerbarkeit der Gasmaschinen  
 139.  
 Ungleichmäßiger Gang 76, 99, 139.

Ventile bei Gasmaschinen 89.  
 Verbrennung, unvollkommene 59,  
 125.  
 — vollkommene 59, 127, 132.

Verdampfer bei Petroleummaschi-  
 nen 121 f.  
 Verdampfungsabkühlung 88.  
 Verdampfungswärme 31.  
 Verdichtung des Gasgemisches 70,  
 78.  
 — bei Dieselmachines 135.  
 — — Spiritusmaschinen 130.  
 Verdichtungsabschnitt 78.  
 Verpuffung 60, 81.  
 Verschmutzung bei Petroleum-  
 maschinen 125.  
 Viertakt 73.  
 Vorteile der Gasmaschinen 48, 138.  
 Vorzeitige Zündung 80.

Wärmeäquivalent 17.  
 — ausnutzung bei Kraftmaschinen  
 35, 42, 46.  
 — — der Leuchtgasbereitung 63.  
 — einheit 17.  
 — losigkeit 20.  
 — theorie, Hauptsatz der mecha-  
 nischen 17.  
 Wassereinspritzung bei Benzin-  
 maschinen 119.  
 Wasserkraftmaschinen 19.  
 Watt 29.  
 Wirkungsgrad 9, 26, 27.  
 — Verschlechterung des —s bei  
 abnehmender Leistung 101, 132.  
 wirtschaftlicher Wirkungsgrad 27.

Zerstäuberventil bei Dieselmachines  
 134.  
 — — bei Petroleumvergassern 122.  
 Zerstäuber-Vorrichtungen 117, 118,  
 122.  
 Zündung 81, 90, 131.  
 Zustand eines Gases 21.  
 Zustandsänderung 21.  
 Zweitaktmaschinen 82.  
 Zylinderabkühlung 61, 87.



Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

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

## **„Aus Natur und Geisteswelt.“**

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens. Jeder Band (v. 120—180 Seiten) ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

**Jeder Band geh. M. 1.—, in Leinwand geb. M. 1.25.**

In der Sammlung sind u. a. erschienen:

- Arndt, K., Elektrochemie. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 234.)  
Auerbach, S., die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. 2. Auflage. Mit 79 Figuren. (Bd. 40.)  
Biedermann, E., die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 144.)  
Blau, K., das Automobil. Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Mit 83 Abbildungen. (Bd. 166.)  
Blochmann, R., Grundlagen der Elektrotechnik. Mit 128 Abbildungen. (Bd. 168.)  
Börnstein, R., die Lehre von der Wärme. Gemeinverständlich dargestellt. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 172.)  
Brick, H., die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Mit 58 Abbildungen. (Bd. 235.)  
Brüsch, W., die Beleuchtungsarten der Gegenwart. Mit 155 Abbildungen. (Bd. 108.)  
Hahn, S., die Eisenbahnen, ihre Entstehung und gegenwärtige Verbreitung. Mit zahlr. Abbildungen und einer Doppeltafel. (Bd. 71.)  
Jhering, A. v., die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Mit 73 Abbildungen. (Bd. 228.)  
Launhardt, W., am laufenden Webstuhl der Zeit. Übersicht über die Wirkungen der Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik auf das gesamte Kulturleben. 2. Auflage. Mit 16 Abbildungen. (Bd. 23.)  
Merckel, K., Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. 2. Aufl. Mit 55 Abbildungen. (Bd. 28.)  
— Bilder aus der Ingenieurtechnik. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 60.)  
Müller, A., Bilder a. d. chem. Technik. M. 24 Abbildungen. (Bd. 191.)  
— S., techn. Hochschulen in Nordamerika. Mit zahlr. Abb. (Bd. 190.)  
Scheid, K., die Metalle. 2. Aufl. Mit 16 Abbildungen. (Bd. 29.)  
Vater, R., Hebezeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Mit 67 Abbildungen. (Bd. 196.)  
— Dampf und Dampfmaschine. Mit 44 Abbildungen. (Bd. 63.)  
— neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen. Mit 48 Abbildungen. (Bd. 86.)  
Wedding, H., das Eisenhüttenwesen. 3. Aufl. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)  
**Nähere Angaben über diese Bände im Anhang.**

**Illustr. ausführl. Katalog umsonst u. postfrei vom Verlag.**



## Grundlagen der Theorie und des Baues der Wärme- kraftmaschinen.

Aus dem Englischen von Dr. Alfred Musil. Von J. A. Ewing, Prof. an der Univ. Cambridge. Mit 302 Fig. im Text. [X u. 794 S.] gr. 8. 1902. In Leinwand geb. n. 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. Mathematik u. Physik.)

„Das ebenso ausgezeichnete wie zeitgemäße Werk verdient, nicht allein den Fachleuten auf dem Gebiete des Maschinenbaues, sondern auch den weiteren Kreisen der Techniker aufs wärmste empfohlen zu werden.“

(Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.)

## Bau der Dampfturbinen.

Von Dr. Alfred Musil. Mit zahlr. Abbild. [VI u. 233 S.] gr. 8. 1904. In Leinwand geb. n. 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 Dampföfen sowie die konstruktiven Ausführungen der Laval-, Parsons-, Zoelly-, Riedler-Stumpff-, 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.“

(Zeitschr. d. österr. Ingen. u. Architekten-Vereins.)

„Das Buch ist mit jener Klarheit geschrieben, welche die Veröffentlichungen des Verfassers auszeichnet, und es kann jedem empfohlen werden, welcher ein Bild des heutigen Dampfturbinenbaues gewinnen will.“

(Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen.)

## Die Kraftmaschinen.

Von Dr. K. Schreiber, Privatdozenten an der Universität Greifswald. Eine Einführung in die allgemeine Maschinenkunde. 2. wohlfeile Ausgabe. Mit 56 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel. [XII u. 347 S.] gr. 8. 1907. Geh. n. M. 3.60. In Leinwand geb. n. M. 4.20.

Das vorliegende Buch gibt in elementarer Darstellung, d. h. nur unter Benutzung der auf den Gymnasien und ähnlichen Anstalten gelehrtten Grundlagen der Mathematik und Physik, eine zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Kraftmaschinen der Jetztzeit unter Bezugnahme hauptsächlich auf die Ausnutzung der Energievorräte der Natur und auf die Kosten der gewonnenen Arbeit.

Es dürfte sich ganz besonders für die Besitzer und Leiter von Fabriken und technischen Unternehmungen eignen, soweit sie nicht selbst Maschineningenieure sind, und zwar vom Landwirt, welcher seinen Betrieb durch Benutzung von Kraftmaschinen erleichtern will, bis zum Leiter von Textil- und chemischen Fabriken, die Kraftmaschinen benutzen müssen; für Verwaltungsbeamte, soweit sie technischen Ressorts zugeteilt sind, Eisenbahn, Post usw., oder überhaupt mit technischen Fragen zu tun haben; für Lehrer der Naturwissenschaften, welche ihren Schülern auch die Errungenschaften der Technik vortragen wollen, sowie für alle, welche sich für die Technik interessieren und im Besitze von Gymnasial- oder entsprechender Schulbildung sind.

„Es ist das Verdienst des Verfassers, zum ersten Male eine für den gebildeten Nichtfachmann berechnete Darstellung der Theorie und Wirkungsweise aller gebräuchlichen Kraftmaschinen in ihrer modernen Konstruktion gegeben zu haben. Der Schwerpunkt des Buches liegt auf theoretischem Gebiet, während es dem Verfasser nicht darum zu tun war, konstruktive Durchbildungen der Maschinen mitzutellen, weil solche lediglich für den Fachmann von Interesse sind und diesem ausführlichere Werke zur Verfügung stehen. Die Darstellungsweise ist keineswegs populär, sondern streng wissenschaftlich.“

(Literarisches Centralblatt.)

## Grundriß der Elektrotechnik für technische Lehranstalten

(Baugewerk-, Berg-, Gewerbe-, Maschinenbauschulen usw.). Von Dr. W. Brüsch, Oberlehrer am Realgymnasium zu Lübeck. Mit 248 Abbildungen im Text. [XII u. 168 S.] gr. 8. 1902. In Leinwand geb. n. M. 3.—

„Das prächtig ausgestattete Lehrbuch setzt sich aus einer Reihe von Vorträgen zusammen, welche den Zweck haben, den Schülern auf dem kürzesten Wege in das Gesamtgebiet der Elektrotechnik einzuführen. Von den einfachen grundlegenden Erscheinungen zu den technischen Anwendungen methodisch fortschreitend, ist der Verfasser bemüht, durch kurze, klare und leicht faßliche Darstellungsweise nur das Wesentliche hervorzuheben. Die vielen (248) vollendet schönen Abbildungen und schematischen Figuren unterstützen das Verständnis außerordentlich, und die wichtigsten Erscheinungen und Gesetze werden, was besonders zu loben ist, durch Fettdruck hervorgehoben. Auf dem kleinen Raum von nur 168 Seiten erfüllt das Buch seinen Zweck vollständig, und wenn es auch nur für technische Lehranstalten bestimmt zu sein scheint, so ist es doch auch denjenigen, welche sich rasch über das Gebiet der Elektrotechnik zu orientieren wünschen, bestens zu empfehlen.“

(Schweizerische Lehrerzeitung.)

## Angewandte Mechanik.

Von John Perry, F. R. S. Ein Lehrbuch für Studierende, die Versuche anstellen und numerische und graphische Beispiele durcharbeiten wollen. Berechtigte deutsche Übersetzung von Ingenieur Rudolf Schick in Köln. Mit 371 Figuren. [VIII u. 666 S.] gr. 8. In Leinwand geb. n. M. 18.—

Prof. John Perrys „Angewandte Mechanik“, gehört in den Ländern des englischen Sprachgebietes zu den bekanntesten Lehrbüchern. Obwohl zunächst für den Gebrauch von Studierenden bestimmt, wird dieses Lehrbuch gewiß auch den in der Praxis tätigen Ingenieuren gute Dienste leisten, weil es einen ungewöhnlich reichhaltigen Stoff in einer Weise behandelt, die den praktischen Bedürfnissen weit entgegen kommt, ohne den wissenschaftlichen Charakter der Darstellung leiden zu lassen.

Die von Perry gegebene Darstellung ist dadurch gekennzeichnet, daß alle Methoden der technischen Wissenschaft gleichmäßig zur Geltung gebracht werden. Infolgedessen wird die hauptsächlichste Aufgabe eines Lehrbuches, dem Studierenden den vorgetragenen Stoff von allen Seiten kritisch zu zeigen, in selten vollkommener Weise erfüllt.

Es ist daher zu hoffen, daß Perrys Buch auch in der deutschen Ausgabe zahlreiche Freunde finden wird. Ist doch die Mechanik diejenige Disziplin, deren ununterbrochenes Studium den Ingenieur bei allen seinen Arbeiten begleiten sollte.

## Die Technische Mechanik.

Elementares Lehrbuch für mittlere maschinen-technische Fachschulen und Hilfsbuch für Studierende höherer technischer Lehranstalten. Von P. Stephan. 2 Teile. Mit zahlreichen Figuren. gr. 8. In Leinwand geb. je n. M. 7.— I. Teil: Mechanik starrer Körper. [VIII u. 344 S.] 1904. II. Teil: Festigkeitslehre und Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper. [VIII u. 332 S.] 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 Maschinentechniker von Bedeutung ist, und schließlich die der gasförmigen entwickelt.

„Der didaktische Wert des Werkes ist hervorzuheben, und bieten die ausführlich durchgearbeiteten eingestreuten Beispiele eine Fülle von Anregungen und Beleuchtungen des behandelten Stoffes bei gediegener sowohl inneren als auch äußeren Formgebung und stets klarer und auch gefälliger Ableitung. Das Werk ist auch als Nachschlagebuch hinsichtlich vieler Angaben und Register bestens zu empfehlen.“

(Zeitschr. d. österr. Ingen. u. Architekten-Vereins.)



# B. G. TEUBNERS FÜR HANDEL



# HANDBÜCHER UND GEWERBE

HERAUSGEGEBEN VON

**DR. VAN DER BORCHT**

GEH. REGIERUNGSRAT IN BERLIN

**DR. SCHUMACHER**

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT BONN

**DR. STEGEMANN**

GEH. REGIERUNGSRAT IN BRAUNSCHWEIG.

Die Handbücher sollen in erster Linie dem Kaufmann und Industriellen ein geeignetes Hilfsmittel bieten, sich rasch ein wohlgegründetes Wissen auf den Gebieten der Handels- und der Industrielehre, der Volkswirtschaft und des Rechtes, der Wirtschaftsgeographie und der Wirtschaftsgeschichte zu erwerben, wie es die erhöhten Anforderungen des modernen Wirtschaftslebens erfordern. Aber auch allen Volkswirtschaftlern und Politikern, sowie den Verwaltungs- und Steuerbehörden wird die Sammlung willkommen sein, da sie in ihr die so oft nötigen zuverlässigen Nachschlagewerke über die verschiedenen kaufmännischen und industriellen Fragen finden werden.

## Anlage von Fabriken.

Von H. Haberstroh, E. Weldlich, E. Görts und Dr. R. Stegemann. Mit 274 Abbild. u. Plänen sowie 6 Tafeln. [XIII u. 528 S.] gr. 8. 1907 Geh. *M.* 12.—, in Leinw. geb. *M.* 12.80.

## Betrieb von Fabriken.

Von Dr. F. W. R. Zimmermann, A. Johanning, H. v. Frankenberg u. Dr. R. Stegemann. Mit 3 Abbild. u. zahlreichen Formularen. [VI u. 436 S.] gr. 8. 1905. Geh. *M.* 8.—, in Leinw. geb. *M.* 8.60.

## Einführung in die Elektrotechnik.

Physikalische Grundlagen und technische Ausführungen. Von R. Rinkel. Mit 445 Abbildungen im Text. [VI u. 464 S.] gr. 8. 1908. Geh. *M.* 11.20, in Leinw. geb. *M.* 12.—

## Die Eisenindustrie.

Von Oskar Simmersbach. Mit 92 Abbild. [X u. 322 S.] gr. 8. 1906. Geh. *M.* 7.20, in Leinw. geb. *M.* 8.—

## Chemische Technologie.

Von Dr. Fr. Heusler. Mit 126 Abbild. [XVI u. 351 S.] gr. 8. 1905. Geh. *M.* 8.—, in Leinw. geb. *M.* 8.60.

## Die Zuckerindustrie.

gr. 8. 1905. Geh. *M.* 7.40, in Leinw. geb. *M.* 7.80.  
Einzel: I. Teil: Die Zuckerfabrikation. Von Dr. H. Claaßen u. Dr. W. Bartz. Mit 79 Abb. [X u. 270 S.] Geh. *M.* 5.60, in Leinw. geb. *M.* 6.—  
II. Teil: Der Zuckerhandel. Von O. Pilet. [IV u. 92 S.] Geh. *M.* 1.80, in Leinw. geb. *M.* 2.20.

## Die Zuckerproduktion der Welt.

Von Geh.-Rat Prof. Dr. H. Paasche. [VI u. 338 S.] gr. 8. 1905. Geh. *M.* 7.40, in Leinw. geb. *M.* 8.—

## Versicherungswesen.

Von Dr. A. Manes. [XII u. 468 S.] gr. 8. 1905. Geh. *M.* 9.40, in Leinw. geb. *M.* 10.—

In Vorbereitung:

Einführung in die Volkswirtschaft von Professor Dr. Eckert, Cöln.

Geld-, Bank- und Börsenwesen von Professor Dr. Schumacher, Bonn.

Verkehrswesen von Professor Dr. Wiedenfeld, Cöln.

Staats- und Verwaltungsrecht des Deutschen Reiches und der Einzelstaaten von Professor Stier-Somlo, Bonn.

Zollwesen von Regierungsrat Ueberschaer, Cöln-Brunsfeld.

Einleitung in die Chemie von Professor Dr. Partheil, Königsberg.

Chemische Industrie von Geh.-Rat Dr. Müller, Berlin.

Einführung in die wirtschaftliche Statistik von Professor Dr. A. Wirminghaus, Cöln.

Sozialpolitik von Prof. Dr. O. von Zwiédineck-Südenhorst, Karlsruhe i. B.

Genossenschaftswesen von Privatdozent Dr. Wygodzinski, Bonn.

Organisation und Technik des internationalen Getreidehandels von Dr. Viktor Heller, Wien.

Ausführlicher Prospekt auf Verlangen umsonst und postfrei vom Verlage.

# Aus Natur und Geisteswelt.

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher  
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

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

Übersicht nach Wissenschaften geordnet.

## Allgemeines Bildungswesen. Erziehung und Unterricht.

Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof. Dr. Friedrich Paulsen. 2. Aufl. Von Prof. Dr. W. Münch. Mit einem Bildnis Paulsens. (Bd. 100.)

Der Leipziger Student von 1409—1909. Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)

Geschichte des deutschen Schulwesens. Von Oberrealschuldirektor Dr. R. Knabe. (Bd. 85.)

Das deutsche Unterrichtswesen der Gegenwart. Von Oberrealschuldirektor Dr. R. Knabe. (Bd. 299.)

Allgemeine Pädagogik. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 3. Aufl. (Bd. 33.)

Experimentelle Pädagogik mit besonderer Rücksicht auf die Erziehung durch die Tat. Von Dr. W. A. Lay. 2. Aufl. Mit 2 Abb. (Bd. 224.)

Psychologie des Kindes. Von Prof. Dr. R. Gaupp. 2. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 213.)

Moderne Erziehung in Haus und Schule. Von J. Lews. 2. Aufl. (Bd. 159.)

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

Schulkämpfe der Gegenwart. Von J. Lews. 2. Aufl. (Bd. 111.)

Die höhere Mädchenschule in Deutschland. Von Oberlehrerin M. Martin. (Bd. 65.)

Vom Hefischulwesen. Von Rektor Dr. B. Maennel. (Bd. 73.)

Das deutsche Fortbildungsschulwesen. Von Direktor Dr. Fr. Schilling. (Bd. 256.)

Die Knabenhandarbeit in der heutigen Erziehung. Von Seminar-Dir. Dr. A. Babst. Mit 21 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 140.)

Das moderne Volkswbildungswesen. Bücher- und Lesehallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern in ihrer Entwicklung seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Von Stadtbibliothekar Dr. G. Frik. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)

Die amerikanische Universität. Von Ph. D. E. D. Perry. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)

Technische Hochschulen in Nordamerika. Von Prof. S. Müller. Mit zahlr. Abb., Karte u. Lageplan. (Bd. 190.)

Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Von Dir. Dr. J. Kuypers. Mit 48 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 150.)

Deutsches Ringen nach Kraft und Schönheit. Aus den literarischen Zeugnissen eines Jahrhunderts gesammelt. Von Turninspektor R. Möller. 2 Bde. Band II: In Vorb. (Bd. 188/189.)

Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 2. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)

Jugend-Fürsorge. Von Waisenhaus-Direktor Dr. J. Petersen. 2 Bde. (Bd. 161, 162.)

Peestalozzi. Sein Leben und seine Ideen. Von Prof. Dr. P. Natorp. Mit 1 Bildnis u. 1 Briefsatzsimile. (Bd. 250.)

Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor D. Flügel. Mit 1 Bildnisse Herbarts. (Bd. 164.)

Friedrich Fröbel. Sein Leben und sein Wirken. Von A. von Portugall. Mit 5 Tafeln. (Bd. 82.)

## Religionswissenschaft.

Leben und Lehre des Buddha. Von weil. Prof. Dr. M. Bischof. 2. Aufl. von Prof. Dr. H. Lüders. Mit 1 Tafel. (Bd. 109.)

Germanische Mythologie. Von Prof. Dr. F. v. Regelein. (Bd. 95.)

Mythik im Heidentum und Christentum. Von Dr. E. Lehmann. (Bd. 217.)

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



## Aus Natur und Geisteswelt.

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

- |  |  |
|--|--|
| <p>Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden. Von Gymnasialoberlehrer Dr. B. Thomsen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)</p> <p>Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte. Von Prof. Dr. Fr. Giesebrecht. 2. Aufl. (Bd. 52.)</p> <p>Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Prof. Dr. S. Weinel. 3. Aufl. (Bd. 46.)</p> <p>Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Pfarrer D. P. Mehlhorn. 2. Aufl. (Bd. 137.)</p> <p>Jesus und seine Zeitgenossen. Geschichtliches und Erbauliches. Von Pastor E. Bonhoff. (Bd. 89.)</p> <p>Der Text des Neuen Testaments nach seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Div.-Pfarrer A. Pott. Mit 8 Tafeln. (Bd. 134.)</p> <p>Der Apostel Paulus und sein Werk. Von Prof. Dr. E. Fischer. (Bd. 309.)</p> <p>Christentum und Weltgeschichte. Von Prof. Dr. A. Seif. 2 Bde. (Bd. 297, 298.)</p> | <p>Aus der Werbezzeit des Christentums. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. J. Geffken. 2. Aufl. (Bd. 54.)</p> <p>Luther im Lichte der neueren Forschung. Ein kritischer Bericht. Von Prof. Dr. S. Boehmer. 2. Aufl. Mit 2 Bildn. Luthers. (Bd. 113.)</p> <p>Johann Calvin. Von Pfarrer Dr. G. Soeder. Mit 1 Bildnis. (Bd. 247.)</p> <p>Die Jesuiten. Eine historische Skizze. Von Prof. Dr. S. Boehmer. 2. Aufl. (Bd. 49.)</p> <p>Die religiösen Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent D. A. S. Braasch. 2. Auflage. (Bd. 66.)</p> <p>Die Stellung der Religion im Geistesleben. Von Lic. Dr. B. Kalweit. (Bd. 225.)</p> <p>Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick. Von Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)</p> <p>Einführung in die Theologie: Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)</p> |
|--|--|

## Philosophie und Psychologie.

- |  |   |
|--|---|
| <p>Einführung in die Philosophie. Von Prof. Dr. R. Richter. 2. Aufl. (Bd. 155.)</p> <p>Die Philosophie. Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme. Von Realschuldirektor S. Richter. (Bd. 186.)</p> <p>Ästhetik. Dr. R. Hamann. (Bd. 345.)</p> <p>Führende Denker. Geschichtliche Einkleidung in die Philosophie. Von Prof. Dr. J. Cohn. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)</p> <p>Griechische Weltanschauung. Von Privatdoz. Dr. M. Wundt. (Bd. 329.)</p> <p>Die Weltanschauungen der großen Philosophen der Neuzeit. Von weil. Prof. Dr. L. Bussé. 5. Aufl., herausgegeben von Prof. Dr. R. Faldenberg. (Bd. 56.)</p> <p>Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Eine Charakteristik ihrer Hauptrichtungen. Von Prof. Dr. D. Külpe. 5. Aufl. (Bd. 41.)</p> <p>Rousseau. Von Prof. Dr. B. Hensel. Mit 1 Bildn. (Bd. 180.)</p> | <p>Immanuel Kant. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. D. Külpe. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 146.)</p> <p>Schopenhauer. Seine Persönlichkeit, seine Lehre, seine Bedeutung. Von Realschuldirektor S. Richter. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 81.)</p> <p>Herbert Spencer. Von Dr. R. Schwarze. Mit 1 Bildn. (Bd. 245.)</p> <p>Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. Unold. 3. Aufl. (Bd. 12.)</p> <p>Sittliche Lebensanschauungen der Gegenwart. Von weil. Prof. Dr. D. Kirn. 2. Aufl. (Bd. 177.)</p> <p>Die Mechanik des Geisteslebens. Von Prof. Dr. M. Berworn. 2. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 200.)</p> <p>Die Seele des Menschen. Von Prof. Dr. J. Rehmke. 3. Aufl. (Bd. 36.)</p> <p>Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömmner. (Bd. 199.)</p> |
|--|---|

## Literatur und Sprache.

- |   |  |
|---|--|
| <p>Die Sprachstämme des Erbkreises. Von weil. Prof. Dr. F. N. Find. (Bd. 267.)</p> <p>Die Haupttypen des menschlichen Sprachbaues. Von weil. Prof. Dr. F. N. Find. (Bd. 268.)</p> | <p>Rhetorik. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. Von Dr. E. Geißler. (Bd. 310.)</p> <p>Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. (Bd. 354.)</p> |
|---|--|

- Die deutschen Personennamen. Von Direktor A. Bähnisch. (Bd. 296.)
- Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksliedes. Von Dr. J. W. Bruhnier. 4. Aufl. (Bd. 7.)
- Die deutsche Volksage. Von Dr. D. B. S. (Bd. 262.)
- Das Theater. Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gabel. Mit 20 Abb. (Bd. 230.)
- Das Drama. Von Dr. B. Busse. Mit Abbildungen. 2 Bde. (Bd. 287/288.)
- Bd. I: Von der Antike zum französischen Klassizismus. (Bd. 287.)
- Bd. II: Von Versailles bis Weimar. (Bd. 288.)
- Geschichte der deutschen Lyrik seit Claudius. Von Dr. H. Spiero. (Bd. 254.)
- Schiller. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit Bildnis Schillers. 2. Aufl. (Bd. 74.)
- Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dargestellt von Prof. Dr. G. Witkowski. 3. Aufl. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 51.)
- Deutsche Romantik. Von Prof. Dr. D. F. Walzel. (Bd. 232.)
- Friedrich Hebbel. Von Dr. A. Schapire-Neurath. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 233.)
- Gerhart Hauptmann. Von Prof. Dr. E. Sulzer-Gebing. Mit 1 Bildn. Gerhart Hauptmanns. (Bd. 283.)
- Henrik Ibsen, Björnstjerne Björnson und ihre Zeitgenossen. Von weil. Prof. Dr. B. Kahle. Mit 7 Bildn. (Bd. 193.)
- Shakespeare und seine Zeit. Von Prof. Dr. E. Sieper. Mit 3 Taf. u. 3 Textb. (Bd. 185.)

## Bildende Kunst und Musik.

- Bau und Leben der bildenden Kunst. Von Direktor Dr. Th. Volbehr. Mit 44 Abb. (Bd. 68.)
- Die Ästhetik. Von Dr. R. Hamann. (Bd. 345.)
- Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 317/318.)
- Band I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abb. (Bd. 317.)
- Band II: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 31 Abb. (Bd. 318.)
- Die Blütezeit der griechischen Kunst im Spiegel der Relieffarkophagen. Eine Einführung in die griechische Plastik. Von Dr. H. Wachtler. Mit 8 Taf. u. 32 Abb. (Bd. 272.)
- Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Prof. Dr. A. Matthäei. 2. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 8.)
- Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. A. Matthäei. Mit 62 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 326.)
- Die deutsche Illustration. Von Prof. Dr. R. Kaußch. Mit 35 Abb. (Bd. 44.)
- Deutsche Kunst im täglichen Leben bis zum Schlusse des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. B. Haendke. Mit 63 Abb. (Bd. 198.)
- Albrecht Dürer. Von Dr. R. Wustmann. Mit 33 Abb. (Bd. 97.)
- Rembrandt. Von Prof. Dr. B. Schubring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)
- Orientalische Kunst und ihr Einfluß auf Europa. Von Direktor Prof. Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. (Bd. 87.)
- Kunstpflege in Haus und Heimat. Von Superintendent Richard Bürkner. 2. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.)
- Geschichte der Gartenkunst. Von Reg.-Baum. Chr. Rand. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)
- Die Grundlagen der Tonkunst. Versuch einer genetischen Darstellung der allgemeinen Musiklehre. Von Prof. Dr. H. Rietzsch. (Bd. 178.)
- Einführung in das Wesen der Musik. Von Prof. E. R. Hennig. (Bd. 119.)
- Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der Tasteninstrumente. Von Prof. Dr. D. Bie. (Bd. 325.)
- Geschichte der Musik. Von Dr. Fr. Spiro. (Bd. 143.)
- Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. E. Krebs. Mit 4 Bildn. (Bd. 92.)
- Die Blütezeit der musikalischen Romantik in Deutschland. Von Dr. E. Fstel. Mit 1 Silhouette. (Bd. 239.)
- Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. E. Fstel. Mit 1 Bildnis R. Wagners. (Bd. 330.)
- Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit Partiturbespr. u. 2 Instrumententab. (Bd. 308.)



## Geschichte und Kulturgeschichte.

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

Kulturbilder aus griechischen Städten. Von Oberlehrer Dr. E. Ziebarth. 2. Aufl. Mit 22 Abb. (Bd. 131.)

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

Soziale Kämpfe im alten Rom. Von Privatdoz. Dr. L. Bloch. 2. Aufl. (Bd. 22.)

Byzantinische Charakterköpfe. Von Privatdoz. Dr. A. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)

Germanische Kultur in der Urzeit. Von Prof. Dr. G. Steinhausen. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)

Mittelalterliche Kulturideale. Von Prof. Dr. B. Bedel. 2 Bde. (Bd. 292.)

Bd. I: Selbenleben. (Bd. 292.)

Bd. II: Ritterromantik. (Bd. 293.)

Deutsches Frauenleben im Wandel der Jahrhunderte. Von Dir. Dr. E. Otto. 2. Aufl. Mit 27. Abb. (Bd. 45.)

Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)

Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Von Reg.-Baum. a. D. A. Erbe. Mit 59 Abb. (Bd. 117.)

Das deutsche Dorf. Von R. Mielke. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)

Das deutsche Haus und sein Hausrat. Von Prof. Dr. R. Meringer. Mit 106 Abb. (Bd. 116.)

Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses. Von Reg.-Baum. Chr. Rand. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)

Geschichte des deutschen Bauernstandes. Von Prof. Dr. H. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.)

Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Dir. Dr. E. Otto. 3. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.)

Deutsche Volksfeste und Volksfitten. Von H. C. Rehm. Mitt 11 Abb. (Bd. 214.)

Deutsche Volkstrachten. Von Pfarrer C. Spieß. (Bd. 342.)

Familienforschung. Von Dr. E. Debrient. (Bd. 350.)

Die Münze als hist. Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. A. Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abb. (Bd. 91.)

Das Buchgewerbe und die Kultur. Sechs Vorträge, gehalten im Auftrage des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abb. (Bd. 182.)

Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. O. Weise. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 4.)

Das Zeitungswesen. Von Dr. H. Diez. (Bd. 328.)

Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Prof. Dr. E. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltk. (Bd. 26.)

Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Prof. Dr. O. Weber. (Bd. 123. 124.)

Friedrich der Große. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. Mit 2 Bildn. (Bd. 246.)

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

Napoleon I. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.)

Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrh. Von Prof. Dr. R. Th. v. Seigel. 2. Aufl. (Bd. 129.)

Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 37.)

Die Reaktion und die neue Ara. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 101.)

Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 102.)

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

Österreichs innere Geschichte von 1848 bis 1907. Von Richard Charnab. 2 Bde. [I 2. Aufl.] Band I: Die Vorherrschaft der Deutschen. (Bd. 242). Band II: Der Kampf der Nationen. (Bd. 243.)

Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. Mit 19 Bildn. (Bd. 174.)

Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika. Von Prof. Dr. E. Daenell. (Bd. 147.)

Die Amerikaner. Von N. M. Butler. Deutsche Ausg. bes. von Prof. Dr. W. Paszłowski. (Bd. 319.)

Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert. Von Major O. v. Sothen. Mit 9 Abbild. (Bd. 59.)  
 Der Krieg im Zeitalter des Verkehrs und der Technik. Von Hauptmann A. Meyer. Mit 3 Abb. (Bd. 271.)  
 Der Seekrieg. Eine geschichtliche Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis

zur Gegenwart. Von R. Freiherrn von Malshahn, Vize-Admiral a. D. (Bd. 99.)  
 Die moderne Friedensbewegung. Von A. S. Fried. (Bd. 157.)  
 Die moderne Frauenbewegung. Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. R. Schirmacher. 2. Aufl. (Bd. 67.)

## **Rechts- und Staatswissenschaft. Volkswirtschaft.**

Deutsches Fürstentum und dtsh. Verfassungsw. Von Prof. Dr. Ed. Hubrich. (Bd. 80.)  
 Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Von Prof. Dr. E. Loening. 3. Aufl. (Bd. 34.)  
 Moderne Rechtsprobleme. Von Prof. Dr. F. Kohler. (Bd. 128.)  
 Die Psychologie des Verbrechens. Von Dr. P. v. Olf. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.)  
 Strafe und Verbrechen. Von Dr. P. v. Olf. (Bd. 323.)  
 Verbrechen und Aberglaube. Skizzen aus der volkstündlichen Kriminalistik. Von Kammergerichtsr. Dr. A. Hellwig. (Bd. 212.)  
 Das deutsche Zivilprozeßrecht. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)  
 Ehe und Eherecht. Von Prof. Dr. L. Wähmünd. (Bd. 115.)  
 Der gewerbliche Rechtsschutz in Deutschland. Von Patentanw. B. Tolstorf. (Bd. 138.)  
 Die Miete nach dem B. G.-B. Ein Handbüchlein für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 194.)  
 Das Wahlrecht. Von Reg.-Rat Dr. O. Poensgen. (Bd. 294.)  
 Die Jurisprudenz im häuslichen Leben. Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanw. B. Wienengraber. 2 Bde. (Bd. 219, 220.)  
 Finanzwissenschaft. Von Prof. Dr. C. P. Altmann. (Bd. 306.)  
 Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.)  
 Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrh. Von Privatdoz. Dr. Fr. Müll. 2 Bände. (Bd. 269, 270.) Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.) Band II: Proudhon und der entwicklungsgeschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.)  
 Geschichte des Welthandels. Von Oberlehrer Dr. M. G. Schmidt. 2. Aufl. (Bd. 118.)

Geschichte d. deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbed. (Bd. 237.)  
 Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. P. Arndt. (Bd. 179.)  
 Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Neubearb. von Dr. S. Reinlein. (Bd. 42.)  
 Die Ostmark. Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)  
 Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrh. Von Prof. Dr. L. Pohle. 2. Aufl. (Bd. 57.)  
 Das Hotelwesen. Von Paul Damm-Stienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)  
 Die deutsche Landwirtschaft. Von Dr. W. Claassen. Mit 15 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 215.)  
 Innere Kolonisation. Von A. Brenning. (Bd. 261.)  
 Antike Wirtschaftsgeichte. Von Dr. O. Neurath. (Bd. 258.)  
 Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. Von Prof. J. S. Laughlin. Mit 9 graph. Darst. (Bd. 127.)  
 Die Japaner und ihre wirtsch. Entwicklung. Von Prof. Dr. R. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)  
 Die Gartenstadtbewegung. Von Generalsekr. G. Kämpfmeier. Mit 43 Abb. (Bd. 259.)  
 Das internationale Leben der Gegenwart. Von A. S. Fried. Mit 1 Tafel. (Bd. 226.)  
 Bevölkerungslehre. Von Prof. Dr. M. Haushofer. (Bd. 50.)  
 Arbeiterfrage und Arbeiterversicherung. Von Prof. Dr. O. v. Zwi edine d-Südenhorst. (Bd. 78.)  
 Das Recht der kaufmännisch Angestellten. Von Rechtsanwalt Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)  
 Die Konsumgenossenschaft. Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)  
 Die Frauenarbeit. Ein Problem des Kapitalismus. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (Bd. 106.)  
 Grundzüge des Versicherungswesens. Von Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl. (Bd. 105.)



**Verkehrs-Entwicklung in Deutschland. 1800—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. Loh. 3. Aufl. (Bd. 15.)

**Das Postwesen, seine Entwicklung und Bedeutung.** Von Postf. J. Bruns. (Bd. 165.)  
**Die Telegraphie in ihrer Entwicklung und Bedeutung.** Von Postf. J. Bruns. Mit 4 Fig. (Bd. 183.)  
**Deutsche Schifffahrt und Schifffahrtspolitik der Gegenwart.** Von Prof. Dr. R. Loh. (Bd. 169.)

## Erdfunde.

**Mensch und Erde.** Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil. Prof. Dr. A. Kirchhoff. 3. Aufl. (Bd. 31.)

**Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch.** Von Prof. Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)

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

**Die Städte.** Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. R. Hassert. Mit 21 Abb. (Bd. 163.)

**Wirtschaftl. Erdkunde.** Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearbeitet von Prof. Dr. R. Dove. (Bd. 122.)

**Politische Geographie.** Von Dr. G. Schöne. (Bd. 353.)

**Die deutschen Volksstämme und Landschaften.** Von Prof. Dr. D. Weise. 4. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 16.)

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

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

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

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

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

**Der Orient.** Eine Länderkunde. Von G. Banse. 3 Bde. Mit zahlr. Abb. u. Karten. (Bd. 277. 278. 279.)

**Band I:** Die Atlasländer. Marokko, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abb., 10 Kartenstücken, 3 Diagr. u. 1 Tafel. (Bd. 277.)  
**Band II:** Der arabische Orient. Mit 29 Abb. u. 7 Diagr. (Bd. 278.) **Band III:** Der arische Orient. Mit 34 Abb., 3 Kartenstücken u. 2 Diagr. (Bd. 279.)

## Anthropologie. Heilwissenschaft und Gesundheitslehre.

**Der Mensch der Urzeit.** Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 32.)

**Die moderne Heilwissenschaft.** Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernadi. Deutsch von Dr. S. Ebel. (Bd. 25.)

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

**Der Aberglaube in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben.** Von Prof. Dr. D. von Hansemann. (Bd. 83.)

**Arzneimittel und Genußmittel.** Von Prof. Dr. D. Schmiedeberg. (Bd. 362.)

**Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.** Von Prof. Dr. H. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)

**Die Anatomie des Menschen.** Von Prof. Dr. R. v. Bardeleben. 5 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 201. 202. 203. 204. 263.)

**I. Teil:** Allg. Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Mit 69 Abb. (Bd. 201.) **II. Teil:** Das Skelett. Mit 53 Abb. (Bd. 202.)

**III. Teil:** Das Muskel- und Gefäßsystem. Mit 68 Abb. (Bd. 203.) **IV. Teil:** Die Eingeweide (Darm, Atmungs-, Harn- u. Geschlechtsorgane). Mit 38 Abb. (Bd. 204.)

**V. Teil:** Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abb. (Bd. 263.)

**Moderne Chirurgie.** Von Prof. Dr. Fessler. Mit Abb. (Bd. 339.)

**Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre.** Von weil. Prof. Dr. H. Buchner. 3. Aufl., befohrt von Prof. Dr. M. v. Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)

**Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen.** Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)

**Das menschliche Gebiß, seine Erkrankung und Pflege.** Von Zahnarzt Fr. Jäger. Mit 24 Abb. (Bd. 229.)

## Aus Natur und Geisteswelt.

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

**Körperliche Verbildungen im Kindesalter und ihre Verhütung.** Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)

**Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande.** Von Prof. Dr. R. Bander. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.)  
**Die fünf Sinne des Menschen.** Von Prof. Dr. F. A. Kreibitz. 2. Aufl. Mit 30 Abb. (Bd. 27.)

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

**Die menschliche Stimme und ihre Hygiene.** Von Prof. Dr. P. S. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)

**Die Geschlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung und Verhütung.** Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. Mit 4 Abb. und 1 Tafel. 2. Aufl. (Bd. 251.)

**Die Tuberkulose, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung.** Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. Mit 1 Tafel und 8 Figuren. (Bd. 47.)

**Die krankheitsregenden Bakterien.** Von Privatdoz. Dr. M. Loehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)

**Geisteskrankheiten.** Von Anstaltsoberarzt Dr. G. Hilberg. (Bd. 151.)

**Krankenspflege.** Von Chefarzt Dr. B. Leide. (Bd. 152.)

**Gesundheitslehre für Frauen.** Von weil. Privatdoz. Dr. R. Etlicher. Mit 13 Abb. (Bd. 171.)

**Der Säugling, seine Ernährung und seine Pflege.** Von Dr. W. Raupe. Mit 17 Abb. (Bd. 154.)

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

**Ernährung und Volksnahrungsmittel.** Von weil. Prof. Dr. F. Frenkel. 2. Aufl. Neu bearb. von Geh. Rat Prof. Dr. R. Junb. Mit 7 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 19.)

**Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit.** Von Prof. Dr. R. Bander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)

## Naturwissenschaften. Mathematik.

**Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre.** Von Prof. Dr. F. Auerbach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)

**Die Lehre von der Energie.** Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)

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

**Die großen Physiker und ihre Leistungen.** Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)

**Verdengang der modernen Physik.** Von Dr. S. Keller. (Bd. 343.)

**Das Licht und die Farben.** Von Prof. Dr. L. Graeb. 3. Aufl. Mit 117 Abb. (Bd. 17.)

**Sichtbare und unsichtbare Strahlen.** Von Prof. Dr. R. Börnstein u. Prof. Dr. W. Marchwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)

**Die optischen Instrumente.** Von Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)

**Spektroskopie.** Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)

**Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung.** Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abb. (Bd. 35.)

**Das Stereoskop und seine Anwendungen.** Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. u. 19 Taf. (Bd. 135.)

**Die Lehre von der Wärme.** Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 33 Abb. (Bd. 172.)

**Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung.** Von Dr. S. Mit. Mit 45 Abb. (Bd. 311.)

**Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimentalchemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. 3. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)

**Das Wasser.** Von Privatdoz. Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)

**Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe.** Von Dr. B. Bavinck. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)

**Die Erscheinungen des Lebens.** Von Prof. Dr. S. Miche. Mit 40 Fig. (Bd. 130.)

**Abstammungslehre und Darwinismus.** Von Prof. Dr. R. Geise. 3. Aufl. Mit 37 Fig. (Fig. 39.)

**Experimentelle Biologie.** Von Dr. C. Theising. Mit Abb. 2 Bde. Band I: Experimentelle Zellforschung. (Bd. 336.) Band II: Regeneration, Selbstverstümmelung und Transplantation. (Bd. 337.)

**Einführung in die Biochemie.** Von Prof. Dr. W. Löff. (Bd. 352.)

**Der Befruchtungsvorgang, sein Wesen und seine Bedeutung.** Von Dr. C. Teichmann. Mit 7 Abb. u. 4 Doppeltaf. (Bd. 70.)

**Das Werden und Vergehen der Pflanzen.** Von Prof. Dr. W. Gisevius. Mit 24 Abb. (Bd. 173.)



# Aus Natur und Geisteswelt.

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

- Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.)
- Unsere wichtigsten Kulturpflanzen (Die Getreidegräser). Von Prof. Dr. R. Giesenhagen. 2. Aufl. Mit 38 Fig. (Bd. 10.)
- Die fleischfressenden Pflanzen. Von Dr. A. Wagner. Mit Abb. (Bd. 344.)
- Der deutsche Wald. Von Prof. Dr. H. Hausenrath. Mit 15 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 153.)
- Die Pilze. Von Dr. A. Eichinger. Mit 54 Abb. (Bd. 334.)
- Weinbau und Weinbereitung. Von Dr. F. Schmitthenner. (Bd. 332.)
- Der Obstbau. Von Dr. E. Voges. Mit 13 Abb. (Bd. 107.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Zimmer. Von Prof. Dr. U. Dammer. (Bd. 359.)
- Unsere Blumen und Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. U. Dammer. (Bd. 360.)
- Kolonialbotanik. Von Prof. Dr. F. Zabler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
- Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Getränke. Von Prof. Dr. A. Wiegler. Mit 24 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 132.)
- Die Milch und ihre Produkte. Von Dr. A. Reih. (Bd. 362.)
- Die Pflanzenwelt des Mikroskops. Von Bürgerchullehrer E. Neukauf. Mit 100 Abb. (Bd. 181.)
- Die Tierwelt des Mikroskops (die Arterier). Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 39 Abb. (Bd. 160.)
- Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt. Von Prof. Dr. R. Kraepelin. (Bd. 79.)
- Der Kampf zwischen Mensch und Tier. Von Prof. Dr. R. Eckstein. 2. Aufl. Mit 51 Fig. (Bd. 18.)
- Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie. Von weil. Privatdoz. Dr. R. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)
- Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der Wirbeltiere. Von Prof. Dr. W. Lubowich. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)
- Die Stammesgeschichte unserer Haustiere. Von Prof. Dr. C. Keller. Mit 28 Fig. (Bd. 252.)
- Die Fortpflanzung der Tiere. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
- Deutsches Vogelleben. Von Prof. Dr. A. Voigt. (Bd. 221.)
- Vogelzug und Vogelschutz. Von Dr. W. R. Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)
- Korallen und andere gesteinsbildende Tiere. Von Prof. Dr. W. May. Mit 455 Abb. (Bd. 231.)
- Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Prof. Dr. D. Maas. Mit 11 Karten u. Abb. (Bd. 139.)
- Die Bakterien. Von Prof. Dr. E. Gutzeit. Mit 13 Abb. (Bd. 233.)
- Die Welt der Organismen. In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt. Von Prof. Dr. R. Lampert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)
- Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. F. R. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)
- Die Ameisen. Von Dr. F. R. Knauer. Mit 61 Fig. (Bd. 94.)
- Das Süßwasser-Plankton. Von Prof. Dr. D. G. Charnia. 2. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 156.)
- Meeresforschung und Meeresleben. Von Dr. D. Janson. 2. Aufl. Mit 41 Fig. (Bd. 30.)
- Das Aquarium. Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)
- Wind und Wetter. Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit 28 Fig. u. 3 Tafeln. (Bd. 55.)
- Gut und schlecht Wetter. Von Dr. R. Hennig. (Bd. 349.)
- Der Kalender. Von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. (Bd. 69.)
- Der Bau des Weltalls. Von Prof. Dr. F. Scheiner. 3. Aufl. Mit 26 Fig. (Bd. 24.)
- Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. Von Prof. Dr. B. Weinstein. (Bd. 223.)
- Aus der Vorzeit der Erde. Von Prof. Dr. F. Frech. In 6 Bdn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abbildungen. (Bd. 207—211, 61.)
- Band I: Vulkane einst und jetzt. Mit 80 Abb. (Bd. 207.)
- Band II: Gebirgsbau und Erdbeben. Mit 57 Abb. (Bd. 208.)
- Band III: Die Arbeit des fließenden Wassers. Mit 51 Abb. (Bd. 209.)
- Band IV: Die Arbeit des Ozeans und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen. Mit 1 Titelbild und 51 Abb. (Bd. 210.)
- Band V: Kohlenbildung und Klima der Vorzeit. (Bd. 211.)
- Band VI: Gletscher und Hochgebirge. 2. Aufl. (Bd. 61.)
- Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. E. Oppenheim. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)
- Probleme der modernen Astronomie. Von Prof. Dr. E. Oppenheim. (Bd. 355.)
- Die Sonne. Von Dr. A. Krause. Mit zahlr. Abb. (Bd. 357.)
- Der Mond. Von Prof. Dr. F. Franz. Mit 31 Abb. (Bd. 90.)
- Die Planeten. Von Prof. Dr. B. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.)

Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Cranz. In 2 Bdn. Mit zahlr. Fig. (Bd. 120. 205.) 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. Zinseszins- und Rentenrechnung. Komplexe Zahlen. Binomischer Lehrsatz. 2. Aufl. Mit 21 Fig. (Bd. 205.) Praktische Mathematik. Von Dr. R. Neuendorff. Mit 69 Fig. (Bd. 341.) Planimetrie zum Selbstunterricht. Von

Prof. Dr. P. Cranz. Mit 99 Fig. (Bd. 340.) Einführung in die Infinitesimalrechnung mit einer historischen Übersicht. Von Prof. Dr. G. Kowalewski. Mit 18 Fig. (Bd. 197.) Mathematische Spiele. Von Dr. W. Ahrens. 2. Aufl. Mit 70 Fig. (Bd. 170.) Das Schachspiel und seine strategischen Prinzipien. Von Dr. M. Lange. Mit den Bildnissen E. Lasfers und P. Morphy's, 1 Schachbrettafel und 43 Darst. von Übungsspielen. (Bd. 281.)

## Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

Am tausenden Diebstahl der Zeit. Von Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 23.) Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat R. Merdel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.) Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Baurat R. Merdel. 2. Aufl. Mit 55 Abb. (Bd. 28.) Die Handfeuerwaffen. Ihre Entwicklung und Technik. Von Hauptmann R. Weiß. (Bd. 364.) Der Eisenbetonbau. Von Dipl.-Ing. E. Saimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.) Das Eisenhüttenwesen. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Wedding. 3. Aufl. Mit 15 Fig. (Bd. 20.) Die Metalle. Von Prof. Dr. R. Scheib. 2. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.) Mechanik. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Jhering. 3 Bde. (Bd. 303/305.) Band I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. (Bd. 303.) Band II: Die Mechanik der flüssigen Körper. (In Vorb.) (Bd. 304.) Band III: Die Mechanik der gasförmigen Körper. (In Vorb.) (Bd. 305.) Maschinenelemente. Von Prof. R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.) Hebezeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Prof. R. Vater. Mit 67 Abb. (Bd. 196.) Dampf und Dampfmaschine. Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 63.) Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen). Von Prof. R. Vater. 3. Aufl. Mit 33 Abb. (Bd. 21.) Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen. Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.) Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Jhering. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)

Landwirtsch. Maschinenkunde. Von Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abb. (Bd. 316.) Die Spinnerei. Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit Abb. (Bd. 338.) Die Eisenbahnen, ihre Entstehung und gegenwärtige Verbreitung. Von Prof. Dr. Fr. Sahn. Mit zahlr. Abb. (Bd. 71.) Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart. Von Eisenbahnbau-u. Betriebsinsp. E. Wiedermann. Mit 50 Abb. (Bd. 144.) Die Klein- und Straßenbahnen. Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.) Das Automobil. Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ing. R. Blau. 2. Aufl. Mit 83 Abb. (Bd. 166.) Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. R. Blochmann. Mit 128 Abb. (Bd. 168.) Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Telegrapheninsp. H. Brüd. Mit 58 Abb. (Bd. 235.) Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Telegrapheninsp. H. Brüd. Mit 43 Abb. (Bd. 285.) Die Funkentelegraphie. Von Oberpostpraktikant H. Thurn. Mit 53 Illustr. (Bd. 167.) Nautik. Von Dir. Dr. F. Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.) Die Luftschifffahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. R. Nimführ. 2. Aufl. Mit 42 Abb. (Bd. 300.) Die Beleuchtungsarten der Gegenwart. Von Dr. W. Bräusch. Mit 155 Abb. (Bd. 108.) Heizung und Kühlung. Von Ingenieur F. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)



- |  |   |
|--|---|
| <p><b>Industrielle Feuerungsanlagen und Dampfkessel.</b> Von Ingenieur F. C. Mayer. (Bd. 348.)</p> <p><b>Die Uhr.</b> Von Reg.-Bauführer a. D. S. Bod. Mit 47 Abb. (Bd. 216.)</p> <p><b>Wie ein Buch entsteht.</b> Von Prof. A. B. Unger. 2. Aufl. Mit 7 Taf. u. 26 Abb. (Bd. 175.)</p> <p><b>Einführung in die chemische Wissenschaft.</b> Von Prof. Dr. W. Söb. Mit 16 Fig. (Bd. 264.)</p> <p><b>Bilder aus der chemischen Technik.</b> Von Dr. A. Müller. Mit 24 Abb. (Bd. 191.)</p> <p><b>Der Luftstickstoff und seine Verwertung.</b> Von Prof. Dr. R. Kaiser. Mit 13 Abb. (Bd. 313.)</p> <p><b>Agrikulturchemie.</b> Von Dr. P. Frische. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)</p> <p><b>Die Bierbrauerei.</b> Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abb. (Bd. 333.)</p> | <p><b>Chemie und Technologie der Sprengstoffe.</b> Von Prof. Dr. R. Biedermann. Mit 15 Fig. (Bd. 286.)</p> <p><b>Photochemie.</b> Von Prof. Dr. G. Küm-mell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)</p> <p><b>Die Kinematographie.</b> Von Dr. S. Lehmann. (Bd. 358.)</p> <p><b>Elektrochemie.</b> Von Prof. Dr. R. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)</p> <p><b>Die Naturwissenschaften im Haushalt.</b> Von Dr. F. Bongardt. 2 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 125, 126.)</p> <p><b>I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie?</b> Mit 31 Abb. (Bd. 125.) <b>II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung?</b> Mit 17 Abb. (Bd. 126.)</p> <p><b>Chemie in Küche und Haus.</b> Von weil. Prof. Dr. G. Abel. 2. Aufl. von Dr. S. Klein. Mit 1 Doppeltafel. (Bd. 76.)</p> |
|--|---|

# Die Kultur der Gegenwart ihre Entwicklung und ihre Ziele

Herausgegeben von Professor Paul Hinneberg

Von Teil I und II sind erschienen:

## Teil I. Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Abt. 1: Gegenwart.

Bearb. von W. Lexis, Fr. Paulsen, G. Schöppa, G. Kerschensteiner, A. Matthias, H. Gaudig, W. v. Dyck, E. Pallat, K. Kraepelin, J. Lessing, O. N. Witt, P. Schlenker, G. Göhler, K. Bücher, R. Pietschmann, F. Milkau, H. Diels. (XV u. 671 S.) Lex.-8. 1906. [2. Aufl. u. d. Pr.] Geh. M. 16.—, in Leinw. geb. M. 18.—

„Die berufensten Fachleute reden über ihr Spezialgebiet in künstlerisch so hochstehender, dabei dem Denkenden so leicht zugehender Sprache, zudem mit einer solchen Konzentration der Gedanken, daß Seite für Seite nicht nur hohen künstlerischen Genuß verschafft, sondern einen Einblick in die Einzelgebiete verstatet, der an Intensität kaum von einem anderen Werke übertroffen werden könnte.“ (Nationalzeitung, Basel.)

## Teil I. Die orientalischen Religionen. Bearb. von: E. Lehmann.

Abt. 3, 1: Oldenberg, J. Goldziher, A. Grünwedel, J. J. M. de Groot, K. Florenz, H. Haas, (VII u. 267 S.) Lex.-8. 1906. Geh. M. 7.—, in Leinwand geb. M. 9.—.

„Auch dieser Band des gelehrten Werkes ist zu inhaltvoll und zu vielseitig, um auf kurzem Raum gewürdigt werden zu können. Auch er kommt den Interessen des bildungsbedürftigen Publikums und der Gelehrtenwelt in gleichem Maße entgegen. ... Die Zahl und der Klang der Namen aller beteiligten Autoren bürgt dafür, daß ein jeder nur vom Besten das Beste zu geben bemüht war.“ (Berliner Tageblatt.)

## Teil I. Geschichte der christlichen Religion. Mit Einleitung: Die

Abt. 4, I: dische Religion. Bearbeitet von: J. Wellhausen, A. Jülicher, A. Harnack, N. Bonwetsch, K. Müller, A. Ehrhard, E. Troeltsch. 2., stark vermehrte und verbesserte Auflage. (X u. 792 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 18.—, in Leinwand geb. M. 20.—

# Die Kultur der Gegenwart

**Teil I, Systematische christliche Religion.** Bearbeitet von E. Troeltsch, J. Pohle.

**Abt. 4, II:** J. Mausbach, C. Krieg, W. Herrmann, R. Seeberg, W. Faber, H. J. Holtzmann. 2., verb. Auflage. (VIII u. 279 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 6.60, in Leinwand geb. M. 8.—  
 „... Die Arbeiten des ersten Teiles sind sämtlich, dafür bürgt schon der Name der Verfasser, ersten Ranges. Am meisten Aufsehen zu machen verspricht Troeltsch, Aufriß der Geschichte des Protestantismus und seiner Bedeutung für die moderne Kultur. ... Alles in allem, der vorliegende Band legt Zeugnis ab dafür, welche bedeutende Rolle für die Kultur der Gegenwart Christentum und Religion spielen.“ (Zeitschr. f. Kirchengeschichte.)

**Teil I, Allgemeine Geschichte der Philosophie.** Bearbeitet v.: W. Wundt,

**Abt. 5:** H. Oldenberg, J. Goldziher, W. Grube, T. Jnouye, H. v. Arnim, Cl. Baumer, W. Windelband. (VIII u. 572 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 12.—, in Leinw. geb. M. 14.—  
 „... Man wird nicht leicht ein Buch finden, das, wie die ‚Allgemeine Geschichte der Philosophie‘ von einem gleich hohen überblickenden und umfassenden Standpunkt aus, mit gleicher Klarheit und Tiefe und dabei in fesselnder Darstellung eine Geschichte der Philosophie von ihren Anfängen bei den primitiven Völkern bis in die Gegenwart und damit eine Geschichte des geistigen Lebens überhaupt gibt.“ (Zeitschrift f. lateinl. höh. Schulen.)

**Teil I, Systematische Philosophie.** Bearbeitet von: W. Dilthey, A. Riehl, W. Wundt, W. Ostwald,

**Abt. 6:** H. Ebbinghaus, R. Eucken, Fr. Paulsen, W. Münch, Th. Lipps. 2. Aufl. (X u. 435 S.) Lex. 8. 1908. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—

„Hinter dem Rücken jedes der philosophischen Forscher steht Kant, wie er die Welt in ihrer Totalität dachte und erlebte; der ‚neukantische‘, rationalisierte Kant scheint in den Hintergrund treten zu wollen, und in manchen Köpfen geht bereits das Licht des gesamten Weltlebens auf.“ (Archiv für systematische Philosophie.)

Um es gleich vorweg zu sagen: Von philosophischen Büchern, die sich einem außerhalb der engen Fachkreise stehenden Publikum anbieten, wüßte ich nichts besseres zu nennen als diese Systematische Philosophie.“ (Pädagogische Zeitung.)

**Teil I, Die orientalischen Literaturen.** Bearbeitet von: E. Schmidt, A. Erman, C. Bezold, H. Gunkel, Th. Nöldeke, M. J. de Goeje, R. Pischel, K. Geldner, P. Horn, F. N. Finck, W. Grube, K. Florenz. (IX u. 419 S.) Lex. 8. 1906. Geh. M. 10.—, in Leinw. geb. M. 12.—

„... So bildet dieser Band durch die Klarheit und Übersichtlichkeit der Anlage, Knappheit der Darstellung, Schönheit der Sprache ein in hohem Grade geeignetes Hilfsmittel zur Einführung in das Schrifttum der östlichen Völker, die gerade in den letzten Jahrzehnten unser Interesse auf sich gelenkt haben.“ (Leipziger Zeitung.)

**Teil I, Die griechische und lateinische Literatur und Sprache.** Bearbeitet von: U. v. Wilamowitz-Moellendorf, K. Krumbacher, J. Wackernagel, Fr. Leo, E. Norden, F. Skutsch. 3. Auflage. (VIII u. ca. 500 S.) Lex. 8. 1911. Geh. ca. M. 10.—, in Leinwand geb. ca. M. 12.—

„Das sei allen sechs Beiträgen nachgerühmt, daß sie sich dem Zwecke des Gesamtwerkes in geradezu bewundernswerter Weise angepaßt haben: immer wieder wird des Lesers Blick auf die großen Zusammenhänge hingelenkt, die zwischen der klassischen Literatur und Sprache und unserer Kultur bestehen.“ (Byzantinische Zeitschrift.)

**Teil I, Die osteuropäischen Literaturen** und die slawischen Sprachen. Bearbeitet

**Abt. 9:** von: V. v. Jagić, A. Wesselovsky, A. Brückner, J. Máchal, M. Murko, A. Thumb, Fr. Riedl, E. Setälä, G. Suits, A. Bezzenberger, E. Wolter. (VIII u. 396 S.) Lex. 8. 1908. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—

„... Eingeleitet wird der Band mit einer ausgezeichneten Arbeit von Jagićs über ‚Die slawischen Sprachen‘. Für den keiner slawischen Sprache kundigen Leser ist diese Einführung sehr wichtig. Ihr folgt eine Monographie der russischen Literatur aus der Feder des geistvollen Wesselovsky. Die südslawischen Literaturen von Murko sind hier in deutscher Sprache wohl erstmals zusammenfassend behandelt worden. Mit Wolters Abriß der lettischen Literatur schließt der verdienstvolle Band, der jedem unentbehrlich sein wird, der sich mit dem einschlägigen Schrifttum bekannt machen will.“ (Berliner Lokal-Anzeiger.)



# Die Kultur der Gegenwart

## Teil I, Die romanischen Literaturen und Sprachen

Abt. 11, I: mit Einschluß des Keltischen. Bearbeitet von: H. Zimmer, K. Meyer, L. Chr. Stern, H. Morf, W. Meyer-Lübke. (VIII u. 499 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 12.—, in Leinw. geb. M. 14.— „Auch ein kühler Beurteiler wird diese Arbeit als ein Ereignis bezeichnen. . . . Die Darstellung ist derart durchgearbeitet, daß sie in vielen Fällen auch der wissenschaftlichen Forschung als Grundlage dienen kann.“ (Jahrbuch für Zei- u. Kulturgeschichte.)

## Teil II, Allgem. Verfassungs- u. Verwaltungsgeschichte.

Abt. 2, I: I. Hälfte. Bearb. v.: A. Vierkandt, L. Wenger, M. Hartmann, O. Franke, K. Rathgen, A. Luschin v. Ebengreuth. (VII u. 373 S.) Lex. 8. 1911. Geh. M. 10.—, in Leinw. geb. M. 11.— Dieser Band behandelt, dem Charakter des Gesamtwerkes entsprechend, in groß-zügiger Darstellung aus der Feder der berufensten Fachleute die allgemein historisch und kulturgeschichtlich wichtigen Tatsachen der Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte und führt einerseits von den Anfängen bei den primitiven Völkern und den Völkern des orientalischen Altertums über die islamischen Staaten bis zu den modernen Verhältnissen in China und Japan, andererseits vom europäischen Altertum und den Germanen bis zum Untergang des römischen Reiches deutscher Nation.

## Teil II, Staat und Gesellschaft des Orients. Bearbeitet von A. Vierkandt, G. Mas-

Abt. 3, pero, M. Hartmann, O. Franke, K. Rathgen. [Unter der Presse.]

## Teil II, Staat und Gesellschaft der Griechen u. Römer.

Abt. 4, I: Bearbeitet von: U. v. Wilamowitz-Moellendorf, B. Niese. (VI u. 280 S.) Lex.-8. 1910. Geh. M. 8.—, in Leinwand geb. M. 10.—

„Ich habe noch keine Schrift von Wilamowitz gelesen, die im prinzipiellen den Leser so selten zum Widerspruch herausforderte wie diese. Dabei eine grandiose Arbeitsleistung und des Neuen und Geistreichen sehr vieles. . . . Neben dem glänzenden Stil von Wilamowitz hat die schlichte Darstellung der Römerwelt durch B. Niese einen schweren Stand, den sie aber ehrenvoll behauptet. . . .“ (Südwestdeutsche Schulblätter.)

## Teil II, Staat und Gesellschaft der neueren Zeit (bis zur

Abt. 5, I: schen Revolution). Bearbeitet von F. v. Bezold, E. Gothein, R. Koser. (VI u. 349 S.) Lex.-8. 1908. Geheftet M. 9.—, in Leinwand geb. M. 11.—

„Wenn drei Historiker von solchem Range wie Bezold, Gothein und Koser sich dergestalt, daß jeder sein eigenstes Spezialgebiet bearbeitet, in die Behandlung eines Themas teilen, dürfen wir sicher sein, daß das Ergebnis vortrefflich ist. Dieser Band rechtfertigt solche Erwartung.“ (Literarisches Zentralblatt.)

## Teil II, Systematische Rechtswissenschaft. Bearbeitet von: R. Stammler, R. Sohm,

Abt. 8: K. Gareis, V. Ehrenberg, L. v. Bar, L. Seuffert, F. v. Liszt, W. Kahl, P. Laband, G. Anschütz, E. Bernatzik, F. v. Martitz. (X, LX u. 526 S.) Lex.-8. 1906. Geheftet M. 14.—, in Leinwand geb. M. 16.—

„. . . Es ist jedem Gebildeten, welcher das Bedürfnis empfindet, sich zusammenfassend über den gegenwärtigen Stand unserer Rechtswissenschaft im Verhältnis zur gesamten Kultur zu orientieren, die Anschaffung des Werkes warm zu empfehlen.“ (Blätt. f. Genossenschaftsw.)

## Teil II, Allgemeine Volkswirtschaftslehre. Von W. Lexis. (VI u. 259 S.)

Abt. 10, I: Lex.-8. 1910. Geh. M. 7.—, in Leinwand geb. M. 9.—

„. . . Ausgezeichnet durch Klarheit und Kürze der Definitionen, wird die ‚Allgemeine Volkswirtschaftslehre‘ von Lexis sicher zu einem der beliebtesten Einführungsbücher in die Volkswirtschaftslehre werden. Eine zum selbständigen Studium der Volkswirtschaftstheorie völlig ausreichende, den Leser zum starken Nachdenken anregende Schrift. . . . Das Werk können wir allen volkswirtschaftlich-theoretisch interessierten Lesern warm empfehlen.“ (Zeitschrift des Vereins der Deutschen Zucker-Industrie.)

**Probeheft und Sonderprospekte umsonst und postfrei vom Verlag  
B. G. Teubner in Leipzig.**

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

**Dr. R. Hesse**

und

**Dr. S. Doflein**

Professor an der Landwirtschaftlichen  
Hochschule in Berlin

Professor a. d. Universität u. II. Direktor  
der Zoolog. Staatsammlung München

# 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 Abbildungen und 15 Tafeln. [XVII u.  
789 S.] 1910.
- II. Band: **Das Tier als Glied des Naturganzen.** Von S.  
Doflein. [Erscheint im Sommer 1911.]

---

## Aus den Besprechungen:

---

„Auf die Frage, für wen das Buch bestimmt ist, kann ich nur antworten: Für jeden, der sich etwas eingehender mit Zoologie beschäftigt hat, oder der sich in das interessante Gebiet ernstlich vertiefen will. Wegen der Bedeutung, die es als Quellenwerk für den Unterricht besitzt, dürfte es besonders den Lehrerbibliotheken zur Anschaffung dringend empfohlen werden.“

(Prof. Dr. Schmeil in der „Deutschen Schule“.)  
„Das Werk steht in der gesamten biologischen Literatur einzig da. Der Verfasser hat es verstanden, die an Umfang gewaltige Materie zu einem wohlgeordneten, leicht verständlichen Ganzen zusammenzufassen, an dessen Lektüre sich jeder heranwagen darf, der über ein gutes Schulwissen einer höheren Lehranstalt verfügt. Die Meisterschaft in der Darstellungsweise des Verfassers zeigt sich nicht nur in der überzeugenden Klarheit, sondern vor allem in der Wahrung großer Gesichtspunkte, die überall lebhaft in den Vordergrund treten. Alles Bedeutsame, was die moderne Zoologie an Forschungsergebnissen in der Anatomie der Bildungsgeschichte, der reinen Biologie zu verzeichnen hat, ist in ausreichender Weise berücksichtigt. Das Bildmaterial verdient gleichfalls unbedingte Anerkennung. Vornehmlich den Lehrern der Biologie sei das Werk empfohlen.“ (Monatsschrift f. d. element. naturwissensch. Unterricht.)

„Ein Werk, das freudiges Aussehen erregen muß. . . Nicht im Sinne der landläufigen populär-wissenschaftlichen Bücher und Schriften, sondern wie ein Lehrer, der den Naturfreund ohne aufdringliche Gelehrsamkeit, aber doch in durchaus wissenschaftlichem Ernste behandelt, so wirkt Hesse in diesem Buch, das nicht warm genug empfohlen werden kann. Es wird mit seinen zahlreichen durchweg neuen Illustrationen, mit seinen vielen, auch den gebildeten Laien noch unbekannten Einzelforschungen und Aufschlüssen moderner Wissenschaft zu einem Buche werden müssen, das überall neben dem Brehm stehen soll. Auch in Hesses Werk liest man gern und mit gespannter Aufmerksamkeit, und dringt dabei auf leicht gemachtem Wege unter Hesses gelehrter Führung zu Kenntnissen über das Warum und Wie des tierischen Lebens, die fortgesetzt Freude machen und zu neuem Lesen anspornen. . . Die Ausstattung ist vorzüglich.“ (Samburger Fremdenblatt.)



## Was spricht in unserem Heim mehr zu uns als dessen Bildschmuck?

Und doch wie gedankenlos wird er oft gewählt! Wir wollen gar nicht von Bildruden schlimmster Art reden! Auch die Reproduktion eines berühmten Gemäldes, oft undeutschen Empfindungsgehaltes, an der Wand verschwindend, das Beste des Kunstwerkes durch Kleinheit und Farblosigkeit vernichtend, was vermag sie uns als Wandschmuck in unserem Heim zu sagen, wenn wir nach des Tages verwirrendem Getriebe Sammlung in ihm suchen?

## Welcher Art soll vielmehr ein Bild im deutschen Hause sein?

Vor allem muß deutsches Empfinden, deutsche Innigkeit, deutsche Heimatliebe darin zum Ausdruck kommen. Nur so vermag es zu uns zu sprechen, nur so wird es aus uner schöp flichem Quell immer Neues zu sagen wissen.

Darum darf ein Bild vor allem auch keine alltäglichen Platteheiten und Süßlichkeiten bieten, deren wir als ernsthafte Menschen in kurzer Zeit überdrüssig sind. Es muß uns sodann nicht nur durch seinen Inhalt, sondern auch durch die Kunst der Darstellung des Gehalteten immer aufs neue fesseln. Das vermag eine Reproduktion nun überhaupt kaum, das kann nur ein Originalkunstwerk. Das Bild endlich muß eine gewisse Kraft der Darstellung besitzen, es muß den Raum, in dem es hängt, durchdringen und beherrschen.

## Teubners Künstler-Steinzeichnungen

(Original-Lithographien) bieten all das, was wir von einem guten Wandbild im deutschen Hause fordern müssen. Sie bieten Werke großer, ursprünglicher, farbenfroher Kunst, die uns das Schöne einer Welt von Formen und Farben mit den Augen des Künstlers sehen lassen und sie in dessen unmittelbarer Sprache wiedergeben. In der Original-Lithographie führt der Künstler eigenhändig die Zeichnung auf dem Stein aus, bearbeitet die Platten, bestimmt die Wahl der Farben und überwacht den Druck. Das Bild ist also bis in alle Einzelheiten hinein das Werk des Künstlers, der unmittelbare Ausdruck seiner Persönlichkeit. Keine Reproduktion kann dem gleichkommen an künstlerischem Wert und künstlerischer Wirkung.

Teubners Künstler-Steinzeichnungen sind Werke echter Heimatkunst, die stark und lebendig auf uns wirken. Das deutsche Land in seiner wunderbaren Mannigfaltigkeit, seine Tier- und Pflanzenwelt, seine Landschaft und sein Volksleben, seine Werkstätten und seine Fabriken, seine Schiffe und Maschinen, seine Städte und seine Denkmäler, seine Geschichte und seine Helden, seine Märchen und seine Lieder bieten vor allem den Stoff zu den Bildern.

Sie enthalten eine große Auswahl verschiedenartiger Motive und Farbestimmungen in den verschiedensten Größen, unter denen sich für jeden Raum, den vornehmsten wie das einfachste Wohnzimmer, geeignete Blätter finden. Neben ihrem hohen künstlerischen Wert besitzen sie den Vorzug der Preiswürdigkeit. All das macht sie zu willkommenen Geschenken zu Weihnachten, Geburtstagen und Hochzeiten und macht sie zum besten, zu

## dem künstlerischen Wandschmuck für das deutsche Haus!

Die großen Blätter im Format 100×70, 75×55 und 60×50 kosten M. 6.—, bzw. M. 5.— und M. 3.—. Die Blätter in dem Format 41×30 nur M. 2.50 und die **Bunten Blätter** gar nur M. 1.—. Preiswerte **Rahmen**, die auch die Anschaffung eines gerahmten Bildes ohne nennenswerte Mehrkosten gestatten, liefert die Verlags-handlung in verschiedenen Ausführungen und Holzarten für das Bildformat 100×70 in der Preislage von M. 4.50 bis M. 16.—, für das Format 75×55 von M. 4.— bis M. 12.—, für das Format 41×30 von M. 1.75 bis M. 4.50.

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

„.... Doch wird man auch aus dieser nur einen beschränkten Teil der vor-  
handenen Bilder umfassenden Aufzählung den Reichtum des Dargebotenen erkennen.  
Indessen es genügt nicht, daß die Bilder da sind, sie müssen auch gekauft werden. Sie  
müssen vor allen Dingen an die richtige Stelle gebracht werden. Für öffentliche Ge-  
bäude und Schulen sollte das nicht schwer halten. Wenn Lehrer und Geistliche wollen,  
werden sie die Mittel für einige solche Bilder schon überwiesen bekommen. Dann sollte  
man sich vor allen Dingen in privaten Kreisen solche Bilder als willkommene Geschenke  
zu Weihnachten, zu Geburtstagen, Hochzeitsfesten und allen derartigen Gelegen-  
heiten merken. Eine derartige Lithographie ist ein Geschenk, das auch den  
verwöhntesten Geschmack befriedigt. An den Blättern erhält man für eine  
Ausgabe, die auch dem bescheidensten Geldbeutel erschwinglich ist, ein dauernd  
wertvolles Geschenk.“ (Türmer-Jahrbuch.)



Nr. 246. Fr. Beßert: Johannistor  
in Jena. 41×30 cm. M. 2.50



Nr. 245. Fr. Beßert: Herterichsbrunnen  
in Rothenburg o.T. 41×30 cm. M. 2.50

Verkleinerte farbige Wiedergabe der Original-Lithographie.

„Von den Bilderunternehmungen der letzten Jahre, die der neuen 'ästhetischen  
Bewegung' entspringen sind, begrüßen wir eins mit ganz ungetrübter Freude: den  
'künstlerischen Wandmud für Schule und Haus', den die Firma B. G. Teubner in Leipzig  
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.)

„Alt und jung war begeistert, geradezu glücklich über die Kraft malerischer  
Wirkungen, die hier für verhältnismäßig billigen Preis dargeboten wird. Endlich  
einmal etwas, was dem öden Bildruckbilde gewöhnlicher Art mit Erfolg gegen-  
überzutreten kann.“ (Die Hilfe.)

„... Es ist unseres Erachtens wertvoller, an dieser originalen Kunst sehen zu lernen,  
als an vielen hundert mittelmäßigen Reproduktionen das Auge zu verbilden und totes  
Wissen zu lernen, statt lebendige Kunst mitzuerleben.“ (Illustrierte Zeitung.)

**Illustrierter Katalog** mit ca. 170 farbigen Abbildungen  
und beschreibendem Text gegen  
Einsendung von 30 Pfennig (Ausland 40 Pfennig) vom Verlag  
B. G. Teubner in Leipzig, Poststraße 3/5.



Biblioteka Główna  
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu  
Technologicznego w Szczecinie  
CZ-I.401/1



100-000401-01-0

ARCHIWALIA